



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE CONFIABILIDAD DE LA PLATAFORMA DE CONTROL PLC CONTROLLOGIX 5000 DE LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA WARTSILA VASA 32 UBICADA EN YURALPA BLOQUE 21”**

**AUTOR: MARCO VINICIO CUNACHI AGUILAR**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de **MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

Riobamba - Ecuador

Junio 2016

## DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Marco Vinicio Cunachi Aguilar, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Marco Vinicio Cunachi Aguilar

CI. 1802420719



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **CERTIFICACIÓN:**

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, denominado “ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE CONFIABILIDAD DE LA PLATAFORMA DE CONTROL PLC CONTROLLOGIX 5000 DE LA PLANTA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA WARTSILA VASA 32 UBICADA EN YURALPA BLOQUE 21”, de responsabilidad del Sr. Marco Vinicio Cunachi Aguilar ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

---

Ing. Fernando Esparza Paz; MDE

**PRESIDENTE**

---

FIRMA

---

Ing. José Antonio Granizo; Ph D.

**DIRECTOR**

---

FIRMA

---

Ing. Jorge Estuardo Freire Miranda; M.Sc.

**MIEMBRO**

---

FIRMA

---

Ing. Henry Ernesto Vallejo Vizhuete; M.Sc.

**MIEMBRO**

---

FIRMA

Riobamba, junio 2016

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Marco Vinicio Cunachi Aguilar, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 1 de junio de 2016

---

Marco Vinicio Cunachi Aguilar

CI. 1802420719

## **DEDICATORIA**

A Martha, mi amada esposa, quien ha sido mi apoyo y ayuda idónea. A Kerly, Sandy y Matías, mis hijos, por quienes he tenido la inspiración para alcanzar nuevas metas.

Marco

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a DIOS, porque me brinda una nueva oportunidad cada día. A la ESPOCH, por la apertura brindada para mi preparación académica. Al tutor y a los miembros del tribunal, por compartir sus conocimientos y sugerencias que coadyuvaron a alcanzar una meta.

Marco

## TABLA DE CONTENIDO

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>DERECHOS INTELECTUALES.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vi</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESÚMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>SUMARY.....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Formulación del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Sistematización del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Justificación de la investigación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.1 <i>Objetivo General</i>.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.2 <i>Objetivos Específicos</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.6 Hipótesis.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Definiciones y conceptos.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 <i>Definiciones</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.2 <i>Conceptos</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2.1 <i>PLC Controlador Lógico Programable</i>.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2.2 <i>Confiabilidad</i>.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.2.3 <i>Diagrama de Bloques de Confiabilidad (RBD Reability Block Diagram)</i>.....</b>	<b>36</b>

<b>2.2</b>	<b>Estado del arte.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Plataforma de Control.....</i></b>	<b>46</b>
<b>2.2.2</b>	<b><i>Controladores.....</i></b>	<b>47</b>
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.</b>	<b>Técnicas e instrumentos de investigación.....</b>	<b>49</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Diagnóstico.....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Planta de generación en el Bloque 21.....</i></b>	<b>50</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Common - PLC Principal.....</i></b>	<b>52</b>
<b>4.1.3</b>	<b><i>PLC Genset – PLC del grupo Electrógeno.....</i></b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Producto final del proyecto de investigación.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Procedimiento.....</i></b>	<b>54</b>
<b>4.2.2</b>	<b><i>Evaluación preliminar.....</i></b>	<b>57</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b><i>Evaluación de la Confiabilidad del Sistema en 1 año de Funcionamiento.....</i></b>	<b>57</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b><i>Evaluación de la Confiabilidad del Sistema a los 13 años de Funcionamiento.....</i></b>	<b>86</b>
<b>4.2.3</b>	<b><i>Análisis de resultados.....</i></b>	<b>92</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b><i>Estudio de Obsolescencia.....</i></b>	<b>92</b>
<b>4.2.3.2</b>	<b><i>Resultados Obtenidos.....</i></b>	<b>98</b>
<b>4.2.3.3</b>	<b><i>Verificación de la Hipótesis.....</i></b>	<b>98</b>
<b>4.2.3.4</b>	<b><i>Aporte Científico.....</i></b>	<b>109</b>
<b>5.</b>	<b>PROPUESTA.....</b>	<b>110</b>
<b>5.1</b>	<b>Establecer los reemplazos de los ítems obsoletos del sistema.....</b>	<b>110</b>
<b>5.2</b>	<b>Identificar los ítems críticos que introducen baja confiabilidad al sistema.....</b>	<b>110</b>
<b>5.3</b>	<b>Cambiar los ítems obsoletos y los que introducen baja confiabilidad al sistema.....</b>	<b>111</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>117</b>

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2</b>	Diferencias y Similitudes de los Controladores 1756-L6x y 1756-L7x.....	11
<b>Tabla 2-2</b>	Conexiones Locales.....	13
<b>Tabla 3-2</b>	Chasis ControlLogix y Ranuras (Slots) Existentes.....	13
<b>Tabla 4-2</b>	Características del Módulo 1756-CNET ControlNet.....	19
<b>Tabla 5-2</b>	Características del Módulo 1756-DNET DeviceNet.....	20
<b>Tabla 6-2</b>	Chasis Redundantes (a).....	23
<b>Tabla 7-2</b>	Chasis Redundantes (b).....	24
<b>Tabla 1-3</b>	Técnicas e Instrumentos para la Recolección de la Información.....	49
<b>Tabla 1-4</b>	Formato para Cálculo de Confiabilidad.....	55
<b>Tabla 2-4</b>	Hoja de Cálculo para Calcular la Confiabilidad.....	56
<b>Tabla 3-4</b>	CFA 901 RACK A1.....	59
<b>Tabla 4-4</b>	CFA 901 RACK A2.....	59
<b>Tabla 5-4</b>	CFA 901 RACK A3.....	59
<b>Tabla 6-4</b>	CFA 901 RACK A4 MV-SWG.....	59
<b>Tabla 7-4</b>	CFA 901 RACK A5 MV-SWG.....	60
<b>Tabla 8-4</b>	OPERATOR INTERFACE A11.....	60
<b>Tabla 9-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A1 en 1 Año.....	61
<b>Tabla 10-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A2 en 1 Año.....	62
<b>Tabla 11-4</b>	Cálculo de la Confiabilidad Total del Rack A3 en 1 Año.....	63
<b>Tabla 12-4</b>	Cálculo de la Confiabilidad Total del Rack A4 en 1 Año.....	65
<b>Tabla 13-4</b>	Cálculo de la Confiabilidad Total del Rack A5 en 1 Año.....	66
<b>Tabla 14-4</b>	CFC 011 RACK A1.....	68
<b>Tabla 15-4</b>	CFC 011 OPERATOR INTERFACE.....	69
<b>Tabla 16-4</b>	CFE 011 FLEX I/O RACK A2.....	69
<b>Tabla 17-4</b>	CFE 011 FLEX I/O RACK A3.....	69
<b>Tabla 18-4</b>	CFE 011 OPERATOR INTERFACE.....	69
<b>Tabla 19-4</b>	CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	69
<b>Tabla 20-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A1 en 1 Año.....	70
<b>Tabla 21-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A2 en 1 Año.....	72
<b>Tabla 22-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A3 en 1 Año.....	73
<b>Tabla 23-4</b>	Resultados de la Confiabilidad Total del Rack A4 en 1 Año.....	75
<b>Tabla 24-4</b>	CFC 021 RACK A1.....	77

<b>Tabla 25-4</b>	CFC 021 OPERATOR INTERFACE A11.....	77
<b>Tabla 26-4</b>	CFE 021 FLEX I/O RACK A2.....	78
<b>Tabla 27-4</b>	CFE 021 FLEX I/O RACK A3.....	78
<b>Tabla 28-4</b>	CFE 021 OPERATOR INTERFACE A11.....	78
<b>Tabla 29-4</b>	CFC 021 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	78
<b>Tabla 30-4</b>	CFC 031 RACK A1.....	80
<b>Tabla 31-4</b>	CFC 031 OPERATOR INTERFACE A11.....	80
<b>Tabla 32-4</b>	CFE 031 FLEX I/O RACK A2.....	80
<b>Tabla 33-4</b>	CFE 031 FLEX I/O RACK A3.....	80
<b>Tabla 34-4</b>	CFC 031 OPERATOR INTERFACE A11.....	81
<b>Tabla 35-4</b>	CFC 031 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	81
<b>Tabla 36-4</b>	CFC 041 RACK A1.....	82
<b>Tabla 37-4</b>	CFC 041 OPERATOR INTERFACE A11.....	82
<b>Tabla 38-4</b>	CFE 041 FLEX I/O RACK A2.....	83
<b>Tabla 39-4</b>	CFE 041 FLEX I/O RACK A3.....	83
<b>Tabla 40-4</b>	CFC 041 OPERATOR INTERFACE A11.....	83
<b>Tabla 41-4</b>	CFC 041 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	83
<b>Tabla 42-4</b>	CFA 901 RACK A1.....	86
<b>Tabla 43-4</b>	CFA 901 RACK A2.....	87
<b>Tabla 44-4</b>	CFA 901 RACK A3.....	87
<b>Tabla 45-4</b>	CFA 901 RACK A4 MV-SWG.....	87
<b>Tabla 46-4</b>	CFA 901 RACK A5 MV-SWG.....	87
<b>Tabla 47-4</b>	CFC 011 RACK A1.....	89
<b>Tabla 48-4</b>	CFE 011 FLEX I/O RACK A2.....	89
<b>Tabla 49-4</b>	CFE 011 FLEX I/O RACK A3.....	89
<b>Tabla 50-4</b>	CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	90
<b>Tabla 51-4</b>	Hallazgos CFA 901 RACK A1.....	92
<b>Tabla 52-4</b>	Hallazgos CFA 901 RACK A2.....	93
<b>Tabla 53-4</b>	Hallazgos CFA 901 RACK A4 MV-SWG.....	93
<b>Tabla 54-4</b>	Hallazgos CFA 901 RACK A5 MV-SWG.....	93
<b>Tabla 55-4</b>	Hallazgos CFA 901 OPERATOR INTERFACE A11.....	93
<b>Tabla 56-4</b>	Hallazgos CFC 011 RACK A1.....	94
<b>Tabla 57-4</b>	Hallazgos CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	94
<b>Tabla 58-4</b>	Hallazgos CFE 011 OPERATOR INTERFACE.....	94
<b>Tabla 59-4</b>	Hallazgos CFC 011 OPERATOR INTERFACE.....	94
<b>Tabla 60-4</b>	Hallazgos CFC 021 RACK A1.....	95

<b>Tabla 61-4</b>	Hallazgos CFC 021 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	95
<b>Tabla 62-4</b>	Hallazgos CFE 021 OPERATOR INTERFACE .....	95
<b>Tabla 63-4</b>	Hallazgos CFC 021 OPERATOR INTERFACE.....	95
<b>Tabla 64-4</b>	Hallazgos CFC 031 RACK A1.....	96
<b>Tabla 65-4</b>	Hallazgos CFC 031 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	96
<b>Tabla 66-4</b>	Hallazgos CFE 031 OPERATOR INTERFACE.....	96
<b>Tabla 67-4</b>	Hallazgos CFC 031 OPERATOR INTERFACE.....	96
<b>Tabla 68-4</b>	Hallazgos CFC 041 RACK A1.....	97
<b>Tabla 69-4</b>	Hallazgos CFC 041 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG.....	97
<b>Tabla 70-4</b>	Hallazgos CFE 041 OPERATOR INTERFACE.....	97
<b>Tabla 71-4</b>	Hallazgos CFC 041 OPERATOR INTERFACE.....	97
<b>Tabla 72-4</b>	Respuestas Pregunta 1.....	99
<b>Tabla 73-4</b>	Respuestas Pregunta 2.....	100
<b>Tabla 74-4</b>	Respuestas Pregunta 3.....	101
<b>Tabla 75-4</b>	Respuestas Pregunta 4.....	102
<b>Tabla 76-4</b>	Respuestas Pregunta 5.....	103
<b>Tabla 77-4</b>	Respuestas Pregunta 6.....	104
<b>Tabla 78-4</b>	Respuestas Pregunta 7.....	105
<b>Tabla 79-4</b>	Respuestas Pregunta 8.....	106
<b>Tabla 80-4</b>	Respuestas Pregunta 9.....	107
<b>Tabla 81-4</b>	Respuestas Pregunta 10.....	108
<b>Tabla 1-5</b>	Módulos Obsoletos y sus Respective Reemplazos.....	110
<b>Tabla 2-5</b>	Cálculo de Confiabilidad de los PLC Genset de los 4 Generadores en Configuración 2-out-of-4.....	112
<b>Tabla 3-5</b>	Cálculo de Confiabilidad del PLC principal CFA-901.....	113
<b>Tabla 3-6</b>	Comparativo de Confiabilidad.....	114

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1-2</b>	Arquitectura Varios PLC Conectados en Red.....	9
<b>Figura 2-2</b>	Arquitectura NetLinx (a).....	10
<b>Figura 3-2</b>	Chasis 1756-A7, Fuente de Alimentación y Módulos ControlLogix.....	11
<b>Figura 4-2</b>	Chasis 1756-A10 y Fuente de Alimentación.....	14
<b>Figura 5-2</b>	Controlador ControlLogix y E/S Remotas.....	15
<b>Figura 6-2</b>	Controlador ControlLogix y E/S Remotas con Módulos FLEX I/O 174.....	15
<b>Figura 7-2</b>	Arquitectura NetLinx (b).....	16
<b>Figura 8-2</b>	Red Ethernet con PLC ControlLogix.....	17
<b>Figura 9-2</b>	EtherNet/IP (Protocolo industrial).....	18
<b>Figura 10-2</b>	Características ControlNet.....	19
<b>Figura 11-2</b>	Características DeviceNet.....	20
<b>Figura 12-2</b>	Redundancia ControlNet.....	23
<b>Figura 13-2</b>	Redundancia EtherNet IP.....	24
<b>Figura 14-2</b>	Crossload desde el Controlador Primario al Secundario.....	25
<b>Figura 15-2</b>	PLC ControlLogix Redundantes Sincronizados.....	27
<b>Figura 16-2</b>	PLC Redundantes sin la Opción de Sincronismo.....	28
<b>Figura 17-2</b>	Red Redundante.....	29
<b>Figura 18-2</b>	Tipos de Fallos.....	30
<b>Figura 19-2</b>	Diagrama de Tiempos Medios de un Sistema que no precisa Interrupción del Funcionamiento para el Mantenimiento preventivo.....	31
<b>Figura 20-2</b>	Parámetros MTBF.....	32
<b>Figura 21-2</b>	Curva de la Bañera.....	33
<b>Figura 22-2</b>	Curva de Confiabilidad para Tasa de Fallos Constante.....	34
<b>Figura 23-2</b>	Mantenibilidad a través de MTTR.....	35
<b>Figura 24-2</b>	Disponibilidad a través de Availability.....	35
<b>Figura 25-2</b>	Ejemplo de un RBD.....	36
<b>Figura 26-2</b>	RBD para Análisis de Confiabilidad.....	37
<b>Figura 27-2</b>	Sistema en Serie.....	37
<b>Figura 28-2</b>	Sistema en Paralelo.....	38
<b>Figura 29-2</b>	Sistema k-de-n.....	38
<b>Figura 30-2</b>	RBD en Serie.....	39
<b>Figura 31-2</b>	RBD en Paralelo.....	40

<b>Figura 32-2</b>	RBD Configuración k-out-of-n para Componentes Idénticos e Independientes.....	41
<b>Figura 33-2</b>	Dos Ítems en Paralelo, Hot Standby.....	42
<b>Figura 34-2</b>	# Ítems en Paralelo, Warm Standby con Switch Ideal.....	43
<b>Figura 35-2</b>	# Ítems en Paralelo, Cold Standby con Switch Ideal.....	44
<b>Figura 1-4</b>	Grupos Electrógenos Ubicados en Yuralpa B21.....	50
<b>Figura 2-4</b>	Arquitectura del Sistema PLC ControlLogix .....	51
<b>Figura 3-4</b>	Arquitectura del sistema PLC ControlLogix configurado en el HMI.....	51
<b>Figura 4-4</b>	Switchgear de 13.8 kV.....	53
<b>Figura 5-4</b>	Tableros de Control del Sistema de PLC en Cuarto de Operaciones.....	53
<b>Figura 6-4</b>	Arquitectura del PLC Principal.....	58
<b>Figura 7-4</b>	Rack A1.....	60
<b>Figura 8-4</b>	Diagrama RBD Rack A1.....	61
<b>Figura 9-4</b>	Backplane A2.....	61
<b>Figura 10-4</b>	Diagrama RBD Rack A2.....	62
<b>Figura 11-4</b>	Rack A3.....	62
<b>Figura 12-4</b>	Representación RBD Rack A3.....	63
<b>Figura 13-4</b>	Rack A4.....	64
<b>Figura 14-4</b>	Diagrama RBD Rack A4.....	64
<b>Figura 15-4</b>	Rack A5.....	65
<b>Figura 16-4</b>	Diagrama RBD Rack A5.....	65
<b>Figura 17-4</b>	Diagrama RBD Equivalente .....	66
<b>Figura 18-4</b>	Diagrama RBD Equivalente con Cálculo de Confiabilidad.....	67
<b>Figura 19-4</b>	Arquitectura del PLC Genset 1.....	68
<b>Figura 20-4</b>	Rack A1 y la Disposición de sus Elementos.....	70
<b>Figura 21-4</b>	Diagrama RBD Rack 1.....	70
<b>Figura 22-4</b>	RBD del CFE 011 Flex I/O rack A2.....	71
<b>Figura 23-4</b>	Diagrama RBD Rack 2.....	72
<b>Figura 24-4</b>	RBD del CFE 011 Flex I/O rack A3.....	73
<b>Figura 25-4</b>	Diagrama RBD Rack A3.....	73
<b>Figura 26-4</b>	Rack A4 y la Disposición de sus Elementos.....	74
<b>Figura 27-4</b>	Diagrama RBD Rack A4.....	75
<b>Figura 28-4</b>	Diagrama Equivalente del PLC Genset 1.....	76
<b>Figura 29-4</b>	Arquitectura del PLC del Genset 2.....	77
<b>Figura 30-4</b>	Arquitectura del PLC del Genset 3.....	79
<b>Figura 31-4</b>	Arquitectura del PLC del Genset 4.....	82

<b>Figura 32-4</b>	RBD Equivalente (PLC Genset funcionando adecuadamente y dos en Falla).....	84
<b>Figura 33-4</b>	Diagrama Equivalente de Confiabilidad de los PLC Genset de los Generadores.....	85
<b>Figura 34-4</b>	Diagrama en Serie del RBD Equivalente del Sistema PLC.....	85
<b>Figura 35-4</b>	Diagrama RBD Final con Confiabilidad para un Año del Sistema de PLC.....	86
<b>Figura 36-4</b>	Confiabilidades de los Racks Individuales en el Diagrama RBD Equivalente (A1-A5) del PLC Principal.....	88
<b>Figura 37-4</b>	Diagrama RBD Equivalente Resolviendo la Redundancia Hot Standby de los racks A1 y A2.....	88
<b>Figura 38-4</b>	Diagrama RBD Final de la Confiabilidad del PLC PRINCIPAL CFA901 en 13 años.....	88
<b>Figura 39-4</b>	Confiabilidades de los Racks Individuales en el Diagrama RBD Equivalente (A1-A41).....	90
<b>Figura 40-4</b>	Diagrama RBD Final de la Confiabilidad del PLC Genset 1 en Trece Años.....	90
<b>Figura 41-4</b>	RBD Equivalente (PLC Genset Funcionando Adecuadamente y dos en Falla).....	91
<b>Figura 42-4</b>	Diagrama RBD Final de la Confiabilidad de los PLC Genset.....	91
<b>Figura 43-4</b>	Diagrama RBD Equivalente del Sistema de PLC y Genset en serie.....	91
<b>Figura 44-4</b>	Diagrama RBD Final de la Confiabilidad del Sistema PLC para Bloques en Serie en Trece Años.....	92
<b>Figura 45-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 1.....	99
<b>Figura 46-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 2.....	100
<b>Figura 47-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 3.....	101
<b>Figura 48-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 4.....	102
<b>Figura 49-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 5.....	103
<b>Figura 50-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 6.....	104
<b>Figura 51-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 7.....	105
<b>Figura 52-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 8.....	106
<b>Figura 53-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 9.....	107
<b>Figura 54-4</b>	Representación Gráfica de Porcentajes de Respuestas a la Pregunta 10.....	108

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2</b>	MTBF.....	32
<b>Ecuación 2-2</b>	Función Exponencial para Cálculo de la Confiabilidad.....	34
<b>Ecuación 3-2</b>	Confiabilidad para Tasa de Fallos Constante.....	34
<b>Ecuación 4-2</b>	Mantenibilidad a través de MTTR.....	35
<b>Ecuación 5-2</b>	Disponibilidad a través de Availability.....	35
<b>Ecuación 6-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Serie.....	39
<b>Ecuación 7-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Paralelo.....	40
<b>Ecuación 8-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Paralelo k-out-of-n.....	41
<b>Ecuación 9-2</b>	Combinatorio.....	42
<b>Ecuación 10-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Hot Standby.....	43
<b>Ecuación 11-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Hot Standby para Ítems Iguales.....	43
<b>Ecuación 12-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Warm Standby.....	44
<b>Ecuación 13-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Warm Standby cuando los Componentes son Independientes.....	44
<b>Ecuación 14-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Cold Standby.....	45
<b>Ecuación 15-2</b>	Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Cold Standby cuando los Componentes son Independientes.....	45

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>DATOS DE MTBF.....</b>	<b>ANEXO A</b>
<b>INFORME DE AUDITORÍA DEL SISTEMA DE CONTROL.....</b>	<b>ANEXO B</b>
<b>ENCUESTA.....</b>	<b>ANEXO C</b>



## RESÚMEN

El análisis y propuesta de mejora de confiabilidad de la plataforma de control PLC (Controlador Lógico Programable) ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila Vasa 32 ubicada en Yuralpa Bloque 21, en el cantón Tena de la provincia del Napo; se obtienen las condiciones actuales del sistema, verificando que la confiabilidad es baja y necesita ser actualizada para mantener la planta de generación eléctrica en optima condición operacional. La arquitectura física del sistema de PLC, se lo convierte a diagramas de confiabilidad RBD (Diagramas de Bloques de Confiabilidad), e inicia desde las tarjetas de cada rack y resolviendo diagramas hasta llegar a la confiabilidad total del sistema. Para implementar los diagramas RBD es necesario llevar cada rack del sistema a bloques serie paralelo y se resuelve aplicando ecuaciones características. Se aplican las ecuaciones de redundancia hot standby para resolver el RBD del PLC CFA901 y de la configuración paralelo k-out-of-n que resulta de la necesidad operativa de la operación, de las unidades de generación en la planta. Los PLC son sistemas robustos y no presentan muchas fallas, por tanto, se utiliza el MTBF (Tiempo Medio entre Fallas), cuyos datos se utilizan para calcular la confiabilidad de cada componente. Según la evaluación de la plataforma de control PLC a los 13 años de funcionamiento, se concluye como resultado que la confiabilidad de 0.317288834 es baja, puesto que con el modelo probabilístico se evidencia que en cualquier componente esta disminuye con el tiempo, aunque no haya fallado durante el periodo de estudio; por lo tanto se recomienda cambiar los ítems obsoletos y las tarjetas 1794-IRT8 del rack CFE0\_1 FLEX I/O A2 de toda la plataforma de control; y, en estas condiciones se calcula la confiabilidad del sistema total a los 14 años de funcionamiento, comprobando la mejora de la confiabilidad del sistema a 0.713425971.

Palabras clave: <PLATAFORMA DE CONTROL>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <CONFIABILIDAD, DIAGRAMAS DE BLOQUES DE CONFIABILIDAD (RBD)>, <TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)>, <REDUNDANCIA, PLANTA DE GENERACIÓN>, <CHASIS>, <YURALPA BLOQUE 21>, <TENA (CANTÓN)>, <NAPO (PROVINCIA)>.

## SUMMARY

Analysis and proposal for improving reliability of the control platform PLC (Programmable Logic Controller) ControlLogix 5000 of the power plant Wartsila Vasa 32 located in Yuralpa Block 21, in the city of Tena Napo province; the current conditions of the system are obtained, verifying that the reliability is low and needs to be updated to maintain the power generation plant in optimum operating condition. The physical architecture of the system PLC, is turned into reliability diagrams RBD (Reliability Block Diagrams), and starts from cards in each rack and solving diagrams to reach the overall reliability of the system. To implement the RBD diagrams is necessary to take each rack from the system to serial parallel blocks and it is solved by applying characteristics equations. Hot stand by redundancy equations are applied to solve the RBD CFA901 PLC and the parallel configuration k-out-of-n resulting from the operational necessity for the operation of the generating units at the plant. The PLC systems are robust and do not have many flaws, therefore, the MTBF (Mean Time Between Failures), whose data are used to calculate the reliability of each component. According to the evaluation of the control platform PLC at 13 years of operation, it is concluded as a result that the reliability of 0.317288834 is low, since through the probabilistic model is evident that in any component decreases over time, even though it has not failed during the study period; therefore it is recommended to change the obsolete items and 1794-IRT8 rack cards CFE0\_1 FLEX I/O A2 of the entire control platform; and in these conditions the reliability of the total system is calculated at 14 years of operating, checking improving system reliability to 0.713425971.

Key words: <PLATFORM CONTROL>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)>, <RELIABILITY>, <RELIABILITY BLOCK DIAGRAM (RBD)>, <MEAN TIME BETWEEN FAILURES (MTBF)>, <REDUNDANCY>, <GENERATION PLANT>, <CHASSIS>, <YURALPA BLOCK 21>, <TENA (CANTON)>, <NAPO (PROVINCE)>.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo se encuentra realizado en base a la investigación realizada en la planta de generación Wartsila Vasa 32 ubicada en el Bloque 21, en donde la existencia de un problema inadvertido se ha dispuesto siendo que el sistema de PLC ControlLogix ha tenido 13 años de funcionamiento continuo y en la planta resulta primordial su trabajo en las operaciones de la planta de generación, por lo cual se ha considerado calcular la confiabilidad para conocer el estado en el que se encuentra actualmente de tal manera que sea posible sustentar las decisiones de actualización de la plataforma de PLC y justificar el proceso de implementación de mejora de la confiabilidad.

La investigación presentada es realizada utilizando datos reales, plasmando de esta manera un trabajo íntegro y completo el mismo que mantiene en su contenido:

Capítulo I: El problema de investigación, se encuentra el planteamiento, formulación y sistematización del problema, la justificación, los objetivos e hipótesis.

Capítulo II: El marco de referencia presenta las respectivas definiciones, conceptos y el estado del arte de la investigación.

Capítulo III: El diseño de la investigación despliega todo aquello referente a la metodología, así como las técnicas e instrumentos de investigación.

Capítulo IV: Resultados y discusión, en el cual se indica el diagnóstico y el producto final del proyecto de investigación que presenta el procedimiento, la evaluación preliminar y el análisis de resultados

Capítulo V: Propuesta, en donde se establece los reemplazos de los ítems obsoletos del sistema y se presenta además cambiar los ítems obsoletos y los que introducen baja confiabilidad al sistema.

Finalmente, se presenta las conclusiones y recomendaciones emitidas por el autor, así como también la bibliografía y los anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La planta de generación en el Bloque 21 se encuentra equipada con cuatro motores Wartsila VASA 32 modelo 12V32LN, los cuales utilizan como combustible el petróleo de 17 grados API.

La capacidad instalada de la planta de generación es de 16 MW, pero actualmente se generan 7 MW. Las cargas más grandes de consumo se encuentran constituidas por dos bombas de re-inyección de agua de producción de 1.3 MW cada una.

Cuenta además con una bomba de exportación de crudo hacia el oleoducto de 1 MW y variadores de velocidad de 42 pozos productores de petróleo. En la actualidad, el bloque 21 produce 7.000 barriles de petróleo y 52.000 barriles de agua.

El sistema de automatización y control de la planta está construido con PLC Allen Bradley ControlLogix 5000; así mismo, la planta de generación se encuentra en funcionamiento desde el año 2003, por tanto, la plataforma de control PLC ControlLogix 5000 tiene 13 años de funcionamiento continuo y por el periodo de uso es imperioso analizar y conocer la condición real de este sistema de control.

Por tal razón es necesario establecer la confiabilidad de la plataforma y dependiendo del resultado, tomar la decisión de continuar con su funcionamiento en las actuales condiciones o realizar la actualización de las nuevas versiones en hardware y software.

La plataforma de control PLC ControlLogix es de costo elevado, actualizarlo a las nuevas versiones tiene un precio estimado de \$500.000.00 USD (Quinientos mil dólares americanos) resultando un gasto excesivo.

Por lo cual es imprescindible conocer la confiabilidad del sistema y evaluar si es posible seguir en funcionamiento en las actuales condiciones para evitar realizar un gasto innecesario.

## **1.2 Formulación del problema**

¿La disminución de la confiabilidad en función del tiempo de las tarjetas del sistema de control de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21 implementado con PLC Allen Bradley ControlLogix 5000 es lo que provoca incertidumbre sobre los posibles Shutdown (paros de emergencia) de las unidades VASA 32 modelo 12V32LN?

## **1.3 Sistematización del problema**

- ¿Es el grado de obsolescencia de las tarjetas del sistema de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21 lo que ocasiona la baja confiabilidad del sistema?
- ¿La inexistencia de un Modelo Probabilístico de Confiabilidad del sistema de control PLC induce a un desconocimiento de la confiabilidad en el proceso de generación eléctrica?
- ¿Sin identificar las actuales condiciones de los componentes críticos del sistema de control PLC es imposible realizar una planificación apropiada en el mantenimiento de las unidades VASA 32 modelo 12V32LN y evitar posibles Shutdown (paros de emergencia)?

## **1.4 Justificación de la investigación**

La planta de generación Wartsila VASA32 de Yuralpa Bloque 21 alimenta de energía eléctrica a la planta de procesos YPF, seis islas de producción de petróleo, bodegas y campamentos.

El sistema de control de la planta de generación implementado con PLC Allen Bradley ControlLogix 5000 es de vital importancia porque controla: las condiciones y la secuencia de arranque de los generadores, las condiciones y secuencia de sincronización con la barra principal, el modo de operación isla de los generadores, las condiciones y secuencia de apagado, la automática reducción de carga de cada generador en caso de que las condiciones de temperatura de aire de carga y del agua de enfriamiento no sean las correctas, el control de la potencia activa y reactiva, las variables de proceso y las señales de disparo que provocan un apagado de cada generador, las variables del proceso y las señales de disparo que provocan un apagado total de la planta de generación, la compartición automática de carga en caso de que algún generador se detenga por algún desperfecto, el monitoreo de las variables del Switchgear de 13.8 KV, el control del MCC (Centro de Control de Motores), la generación de alarmas de las variables y la toma decisiones de control.

Para el análisis de la confiabilidad, se deberá obtener las confiabilidades de cada uno de los componentes que conforman la plataforma de PLC ControlLogix; luego, utilizando la metodología RBD (Reliability Block Diagrams) se obtendrá la confiabilidad del PLC de cada generador, para posteriormente realizar el análisis de toda la plataforma.

El análisis hace uso de metodología específica para diagnosticar la condición actual de confiabilidad y así establecer el tiempo que puede operar la planta de generación en las actuales condiciones y proponer una alternativa de mejora.

Por lo tanto, el sistema de PLC ControlLogix es crucial para las operaciones de la planta de generación, por lo que resulta transcendental calcular la confiabilidad para conocer el estado actual que sustente las decisiones de actualización de la plataforma de PLC y de esta manera justificar el proceso de implementación de mejora de la confiabilidad.

## **1.5      Objetivos**

### **1.5.1    *Objetivo General***

- Evaluar la confiabilidad de la plataforma de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila VASA 32 modelo 12V32LN ubicada en Yuralpa Bloque 21, durante el primer semestre del 2015.

### **1.5.2      *Objetivos Específicos***

- Analizar el grado de obsolescencia de las tarjetas del sistema de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21.
- Identificar las actuales condiciones de los componentes críticos del sistema de control PLC, para realizar una planificación apropiada en el mantenimiento de las unidades VASA 32 modelo 12V32LN.
- Proponer un Modelo Probabilístico de Confiabilidad del sistema de control PLC, para calcular la confiabilidad de la plataforma de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica de Yuralpa Bloque 21.
- Establecer la mejora de la confiabilidad de la plataforma de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica de Yuralpa Bloque 21.

### **1.6      *Hipótesis***

El análisis de confiabilidad permite identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas en el tiempo para planificar el mantenimiento preventivo del sistema PLC.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO DE REFERENCIA**

#### **2.1 Definiciones y conceptos**

##### **2.1.1 Definiciones**

Arquitectura.- Disposición de elementos de software y/o hardware en un sistema.

Backplane.- Proporciona datos, controla y direcciona las señales de datos en el bus de comunicaciones, varias tarjetas pueden ser conectadas en el bus para configurar el sistema como se requiera. Para el caso de los PLC los términos backplane, rack y chasis se los usa como iguales e indistintamente.

Canal.- Elemento o grupo de elementos que llevan a cabo una función de forma independiente.

Controlador.- Es el cerebro de todo el PLC, generalmente consta de un chip de memoria y otros circuitos integrados para el control de la lógica y las comunicaciones.

Determinístico.- La capacidad de pronosticar cuándo se entregará información importante en las aplicaciones que tienen tiempo más crítico.

Dispositivo.- Unidad funcional de hardware o software o ambos, capaces de lograr un fin específico (en este documento también se lo conoce como ítem, componente, tarjeta, módulo).

Escalable.- Facilita la expansión del sistema a medida que cambian las necesidades.

E/S.- Módulos de entradas y salidas (en inglés inputs/outputs I/O).

Error.- Discrepancia entre un valor calculado, observado, medido o condición del verdadero, especificado o teóricamente correcto o condición.

Falla oculta.- Falla que no es evidente para el operador durante el funcionamiento normal.

Gateway.- Un módulo o conjunto de módulos que permiten las comunicaciones entre nodos en redes diferentes.

HMI.- Interface hombre máquina (del inglés human machine interface).

Ítem.- Cualquier pieza, componente, dispositivo, subsistema, unidad, equipo o sistema funcional que puede ser individualmente considerado.

Inspección.- Actividad llevada a cabo periódicamente y se utiliza para evaluar el progreso de los daños en un componente.



Mantenimiento.- Asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas.

MTBF.- Tiempo medio entre fallas (en inglés Mean Time Between Failures).

Modulo.- Ensamblaje autónomo de componentes de hardware que realiza una función específica (por ejemplo módulos de entradas y salidas digitales).

Rack.- Una colección física y lógica de módulos de aplicación que comparten una fuente de alimentación eléctrica y backplane comunes para la comunicación entre módulos.

RPI.- Es la frecuencia más baja a la que un módulo multi difunde los datos al controlador propietario, el tiempo oscila entre 200 a 750 ms.

Plataforma.- Un sistema que sirve como base para hacer funcionar determinados módulos de hardware o de software con los que es compatible. Los tipos de arquitectura, sistema operativo, lenguaje de programación o interfaz de usuario compatibles, definen una plataforma.

PLC.- Controlador lógico programable (en inglés Programmable Logic Controller).

Riesgo inherente.- Es el riesgo que existe debido a la naturaleza del proceso, incluyendo el equipo y sustancia presentes.

Riesgo tolerable.- Es el riesgo que se acepta en un determinado contexto de acuerdo con los valores actuales de la sociedad.

Hardware.- Es el conjunto de componentes que forman la parte física de una computadora o sistema con procesadores.

Software.- Son los componentes lógicos intangibles de una computadora o sistema con procesadores.

Rack optimizado.- Una conexión de rack optimizado economiza el ancho de banda entre los controladores propietarios y los módulos de E/S digitales en el chasis remoto. En vez de tener varias conexiones directas con valores de RPI individuales, un controlador propietario tiene una única conexión de rack con un único valor de RPI.

RPI.- Ese valor de RPI se adapta a todos los módulos de E/S digitales del chasis remoto. (Publicación de Rockwell Automation 1756-UM058G-ES-P - Noviembre 2012).

Redundancia.- Uso de múltiples elementos o sistemas para realizar la misma función; la redundancia puede ser implementada por elementos idénticos o por elementos diferentes.

RsLogix5000.- Software de programación para PLC de la familia Logix

RsLinx.- Es un software que ofrece servicios de comunicación para redes y todos los productos de Rockwell Automation.

RBD.- Diagrama de bloques de confiabilidad (en inglés Reliability Block Diagram).

Señales discretas.- Son las señales que tienen dos estados, verdadero o falso.

Sistema de control.- Sistema que responde a las señales del proceso y/o desde un operador y genera señales de salida haciendo que el proceso se pueda operar de la manera deseada.

Sistema.- Conjunto de elementos, los cuales interactúan de acuerdo a un diseño; un elemento de un sistema puede ser otro sistema, llamado subsistema, el cual puede ser un sistema de control o un sistema controlado y puede incluir hardware, software y la interacción humana.

Sil.- Nivel de integridad de seguridad (en inglés safety integrity level).

Slot.- El número de ranura del módulo de E/S en su chasis o riel DIN.

Scada.- Acrónimo de Supervisory Control and Data Acquisition (sistema de control y adquisición de datos).

Tasa de falla.- Número de fallas de un ítem en un intervalo de tiempo determinado, dividido para el intervalo de tiempo.

Tolerancia a fallos.- Habilidad de una unidad funcional de seguir realizando una función requerida en presencia de fallos o errores.

## **2.1.2 Conceptos**

### **2.1.2.1 PLC Controlador Lógico Programable**

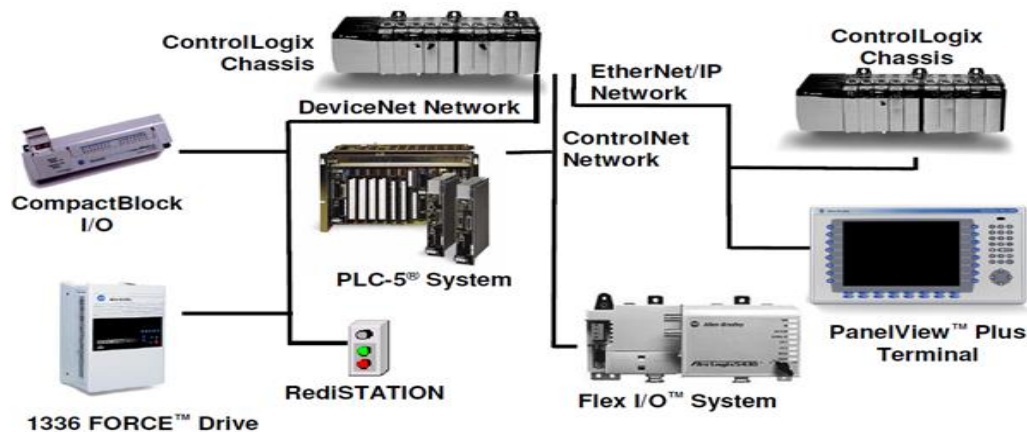
#### Definiciones

Un PLC (En inglés Programmable Logic Controller) o autómatas programables según la definición del estándar internacional IEC 61131 que normaliza las características fundamentales de los mismos tanto en su parte de hardware como de software, es una máquina electrónica programable capaz de ejecutar un programa, o sea, un conjunto de instrucciones organizadas de una forma adecuada para solventar un problema dado, y diseñada para trabajar en un entorno industrial y por tanto hostil.

Las instrucciones disponibles para crear programas serán de una naturaleza tal que permitirán controlar procesos, por ejemplo: funciones lógicas, operaciones aritméticas, de conteo de eventos, de temporización, etc. Además, el PLC estará diseñado de forma tal que la conexión del mismo con el proceso a controlar será rápida y sencilla por medio de entradas y salidas de tipo digital o analógico. (Martín, 2006)

Los PLC por su construcción son compactos y modulares, en la actualidad todos los PLC están orientados a redes de comunicación y pueden funcionar solos o ser parte de una red distribuida de control. (Rockwell Software, 2015)

En la industria del petróleo del país es común encontrar PLC Allen Bradley con los cuales se controlan las plantas de generación eléctrica, el proceso de producción y exportación de petróleo.



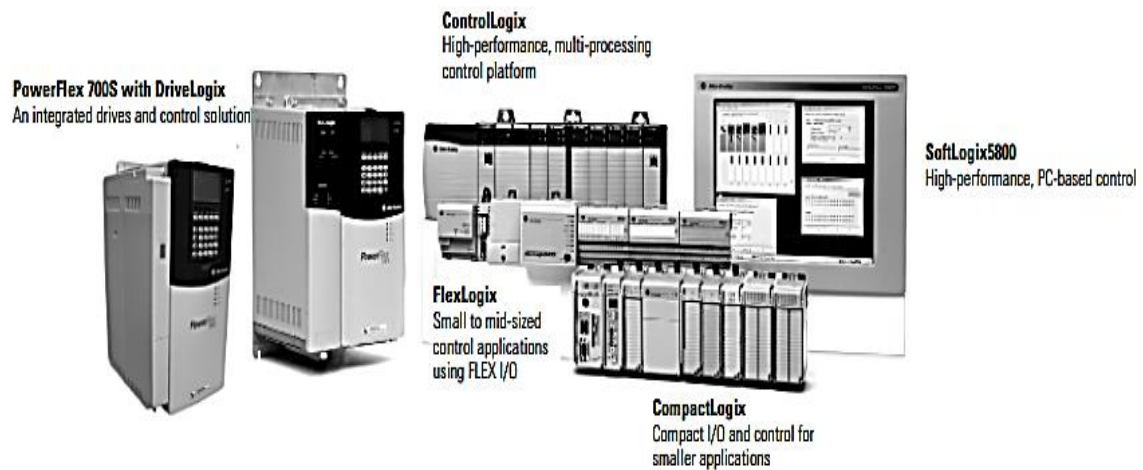
**Figura 1-2** Arquitectura varios PLC conectados en red

Fuente: Rockwell Software (2015)

### Arquitectura Logix

La arquitectura integrada Logix proporciona una única arquitectura de control común para aplicaciones por lotes (en inglés batch), proceso, movimiento, variadores y de control discreto. La arquitectura integrada Logix proporciona un motor de control común, software de programación y soporte de comunicaciones para múltiples plataformas de hardware.

Todos los controladores Logix operan en multitarea, tienen sistema operativo multiproceso y soportan el mismo set de instrucciones en múltiples lenguajes de operación. El software de programación RSlogix 5000 sirve para programar todos los controladores de la familia Logix. Otra característica importante es que todos los controladores Logix incorporan la arquitectura NetLinx para comunicación vía redes EtherNet/IP, ControlNet, and DeviceNet. (Publication 1756-QR107C-EN-P Logix 5000 Controllers, 2005)



**Figura 2-2** Arquitectura NetLinX (a)

**Fuente:** Publication 1756-QR107C-EN-P Logix 5000 Controllers (Junio 2005)

### ControlLogix 5000.-

El controlador ControlLogix proporciona una solución escalable de control, es capaz de manejar gran cantidad de puntos de entradas y salidas E/S (en inglés I/O input/output).

El controlador ControlLogix se puede colocar en cualquier slot (en español ranura) de un rack (en español chasis) y múltiples controladores pueden ser instalados en el mismo rack.

Los controladores ControlLogix monitorean y controlan las E/S a través del backplane, así como también a través de enlaces de red.

Existen tres tipos de controladores ControlLogix en el mercado, ellos son:

1. ControlLogix estándar
2. ControlLogix para ambientes extremos
3. GuardLogix

**1. Controladores ControlLogix Estándar.-** Hay dos líneas de controladores estándar cuyos números genéricos de catálogo son los siguientes: 1756-L6x y 1756-L7x.

Los controladores ControlLogix de las dos líneas tienen algunas diferencias y similitudes, en la siguiente tabla se detalla lo citado. (Publicación de Rockwell Automation 1756-um0010-ES-P Sistema ControlLogix, 2014)

**Tabla 1-2** Diferencias y similitudes de los controladores 1756-L6x y 1756-L7x

Característica	1756-L7x	1756-L6x
Compatibilidad con reloj y copia de seguridad usada para retención de memoria al momento del encendido	Módulo de almacenamiento de energía (ESM)	Batería
Puertos de comunicación (incorporados)	USB	En serie
Conexiones, controlador	500	250
Memoria, no volátil	Tarjeta Secure Digital (SD)	Tarjeta CompactFlash
Pantalla de estado e indicadores de estado	Pantalla de estado desplazable y cuatro indicadores de estado	Seis indicadores de estado
Opciones predeterminadas de búfer no conectado	20 (40, máx.)	10 (40, máx.)

**Fuente:** Publicación de Rockwell Automation 1756-um0010-ES-P Sistema ControlLogix (Octubre 2014)



**Figura 3-2** Chasis 1756-A7, fuente de alimentación y módulos ControlLogix

**Fuente:** Planta de generación eléctrica Wartsila Vasa 32

**2. Controladores ControlLogix para Ambientes Extremos.-** Los controladores para ambientes externos soportan temperaturas de trabajo en el rango de -25...70 °C (-13...158 °F), al igual que los controladores estándar hay dos líneas de controladores para ambientes externos cuyos números de catálogo son los siguientes: 1756-L63XT y 1756-L73XT y tienen la misma funcionalidad de sus pares estándar 1756-L63 y 1756-L73 (Publicación 1756-UM0010-ES-P Sistema ControlLogix, 2014).

Los componentes de los ControlLogix XT incluyen componentes de control y comunicaciones recubiertas para protección en ambientes corrosivos severos.

**3. Controladores GuardLogix.-** Los controladores GuardLogix son utilizados en sistemas de seguridad, el sistema GuardLogix es una solución dual de control, se debe usar un 1756-L6xS/1756-L7xS como controlador primario y un 1756-LSP/1756-L7SP como controlador de seguridad para alcanzar un SIL 3 (safety Integrity Level)

#### ControlLogix Conexiones.-

El sistema ControlLogix utiliza conexiones para establecer enlaces de comunicación entre dispositivos, los tipos de conexiones son los siguientes:

1. Controlador a módulos E/S locales (E/S ubicados en el mismo chasis que el controlador) o módulos de comunicación locales.
2. Controlador a módulos de E/S remotos (E/S ubicados en un chasis diferente al del controlador) o módulos de comunicación remotos.
3. Controlador a módulos de E/S remotos (rack optimizado).
4. Tags producidos y consumidos.
5. Mensajes.
6. Acceso a través del software de programación RSLogix 5000 al controlador ControlLogix.
7. Acceso a través del software RSlinx para el HMI u otras aplicaciones.

Con el software de programación RSLogix 5000 se configura el controlador ControlLogix e indirectamente se determina el número de conexiones que el controlador usa para comunicarse con otros dispositivos dentro del sistema.

Prácticamente el límite de conexiones depende del módulo de comunicación que se usa para la conexión.

Los controladores 1756-L6x y 1756-L6xS soportan 250 conexiones, los controladores 1756-L7x y 1756-L7xS soportan 500 conexiones. Para conocer el total de conexiones con el controlador hay que usar la siguiente tabla considerando las conexiones de las E/S locales y remotas. (Publication 1756-TD001I-EN-P ControlLogix Controllers, 2015)

**Tabla 2-2** Conexiones locales

Connection Type	Device Quantity	Connections per Device	Total Connections
Local I/O module (always a direct connection)		1	
1756-M16SE, 1756-M08SE, 1756-M03SE SERCOS motion module 1756-M02AE, 1756-M02AS, 1756-HYD02 analog motion module		3	
1756-CN2, 1756-CN2R communication module 1756-CNB, 1756-CNBR communication module 1756-CN2RXT communication module		0	
1756-EN2F, 1756-EN2T communication module 1756-ENBT, 1756-EWEB communication module 1756-EN2TXT communication module		0	
1756-DNB communication module		2	
1756-DHR10 communication module 1756-R10 communication module 1756-DHR10XT communication module		1	
1756-DH48S communication module		1	
Total			

**Fuente:** Publication 1756-TD001I-EN-P ControlLogix Controllers (August 2015)

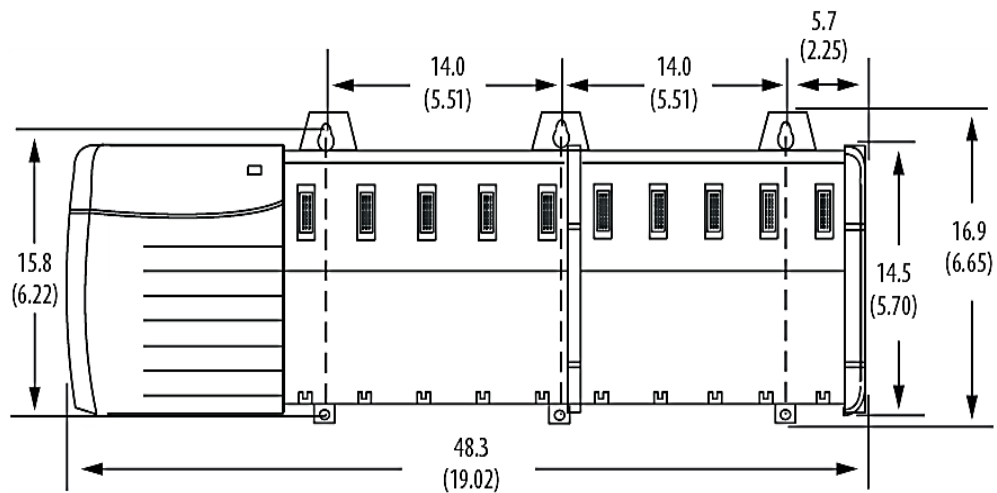
### Módulos de E/S Locales.-

Los módulos de E/S son los que se encuentran instalados en el mismo chasis que el controlador, el número está limitado por la capacidad de ranuras (en inglés slots) del chasis. (Publicación 1756-UM001O-ES-P ControlLogix Controllers, 2014)

**Tabla 3-2** Chasis ControlLogix y ranuras (slots) existentes

Chasis	Ranuras
1756-A4	4
1756-A4LXT	
1756-A5XT	5
1756-A7	7
1756-A7LXT	
1756-A7XT	
1756-A10	10
1756-A13	13
1756-A17	17

**Fuente:** Publicación 1756-UM001O-ES-P ControlLogix Controllers (Octubre 2014)



**Figura 4-2** Chasis 1756-A10 y fuente de alimentación

**Fuente:** Publication 1756-TD006E-EN-E ControlLogix Chassis Specifications (October 2014)

Los tipos de E/S disponibles son los siguientes:

1. E/S analógicas
2. Medidor de flujo configurable
3. E/s digital
4. E/S analógicas HART
5. E/S analógicas de alta velocidad
6. Contador de alta velocidad
7. Contador de baja velocidad
8. Interruptor de final de carrera programable

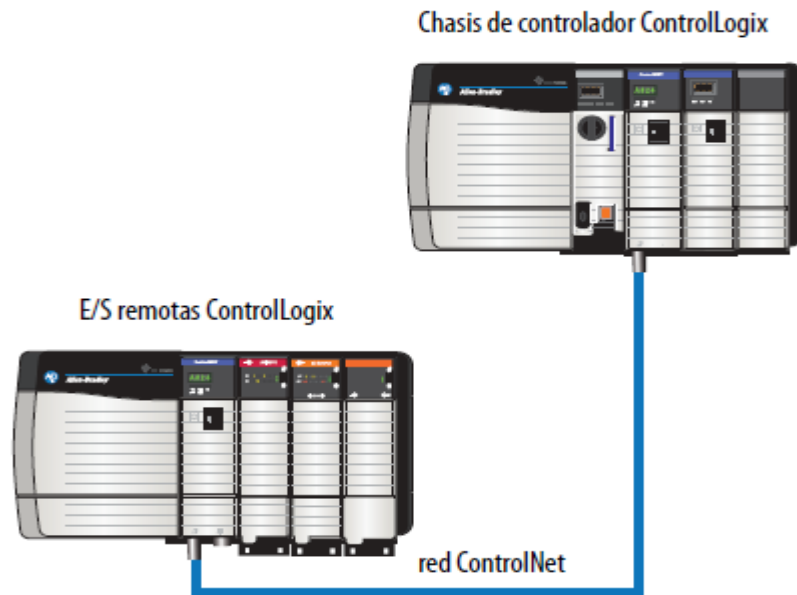
#### Módulos de E/S Remotos.-

Los módulos de E/S remotos son los que no se encuentran instalados en el mismo chasis que el controlador, se conectan al controlador por medio de redes de comunicación.

Las redes de comunicación más utilizadas en el medio son:

- EtherNet/IP
- ControlNet
- DeviceNet

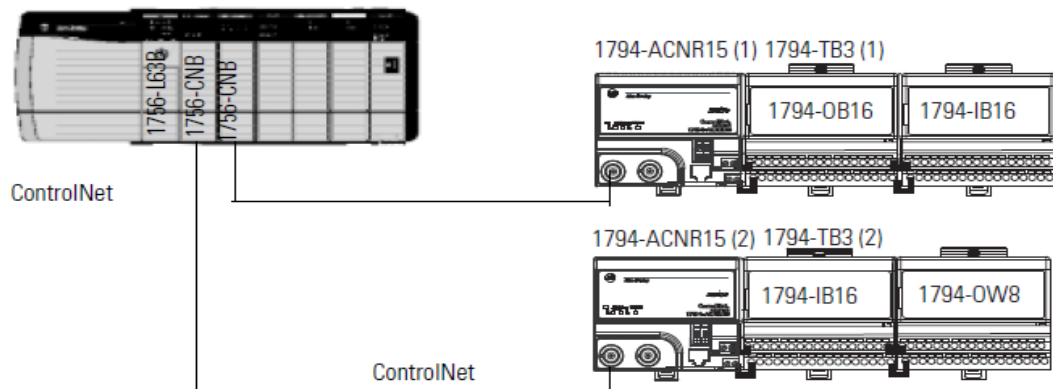




**Figura 5-2** Controlador ControlLogix y E/S remotas

**Fuente:** Publicación 1756-UM001O-ES-P ControlLogix Controllers (Octubre 2014)

Las E/S remotas pueden estar en un chasis ControlLogix estándar unidas al chasis principal por redes de comunicación o también pueden ser E/S distribuidas, siendo los módulos 1794 FLEX I/O los más usados para procesos.

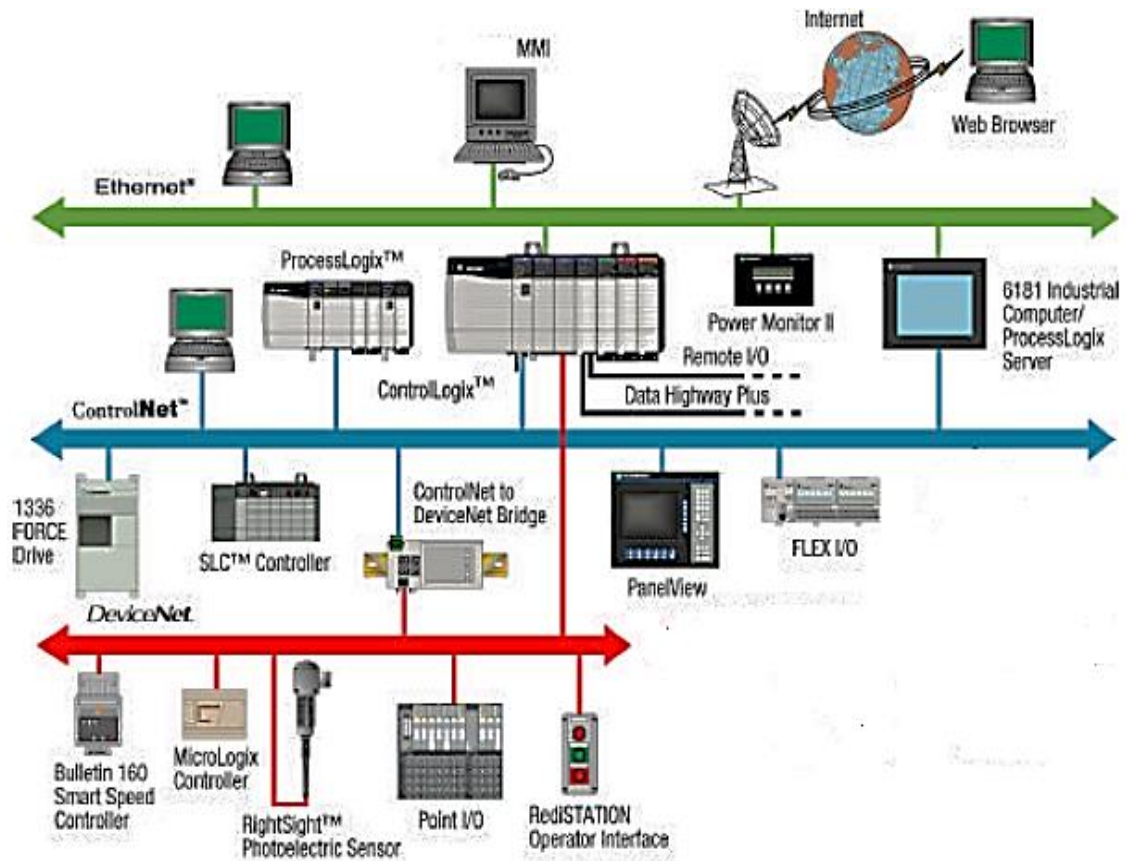


**Figura 6-2** Controlador ControlLogix y E/S remotas con módulos FLEX I/O 1794

**Fuente:** Publicación 1794-RM001G-EN-P (Diciembre 2011)

### Redes de Comunicación Arquitectura NetLinx

La plataforma Logix utiliza la arquitectura de red abierta Netlinx para EtherNet, ControlNet y DeviceNet. Con Netlinx se tiene acceso a la información de la planta en cualquier momento y desde cualquier lugar.



**Figura 7-2** Arquitectura NetLinx

**Fuente:** Rockwell Software (2015)

Por medio de la arquitectura Netlinx se integra todos los dispositivos de cualquier proceso industrial, del grafico se infieren las siguientes características:

1. Los dispositivos que se encuentran en las redes EtherNet, ControlNet y DeviceNet pueden comunicarse entre ellos.
2. Desde cualquier computador de estación de trabajo se pueden configurar y monitorear todos los dispositivos.
3. Con las herramientas adecuadas y desde cualquier punto de las redes se puede realizar configuraciones y monitoreo puntual de cualquier dispositivo.

#### Red Ethernet.-

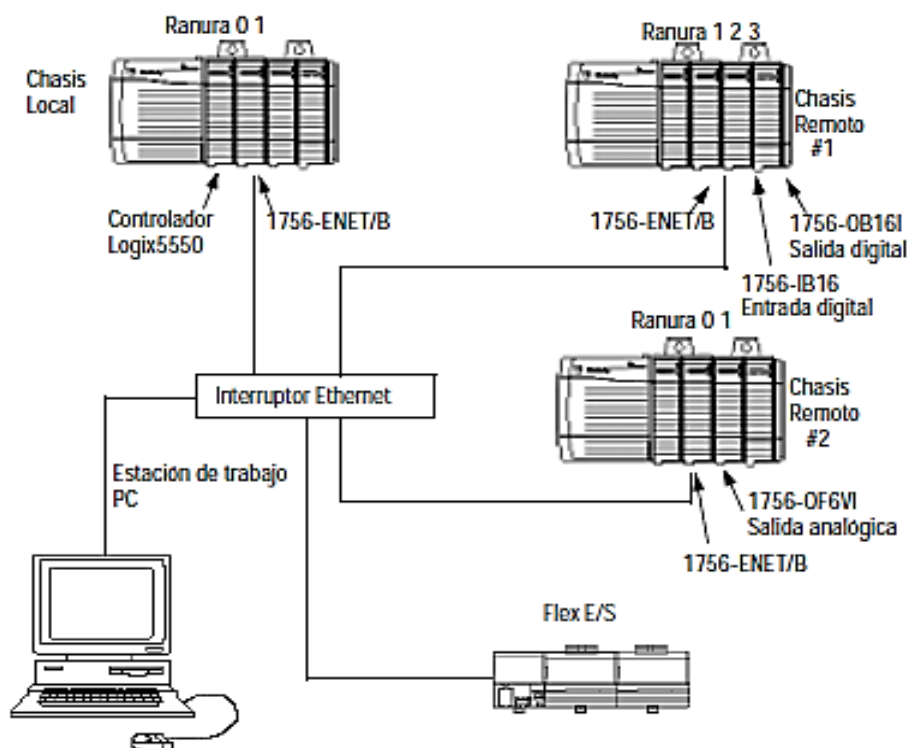
Ethernet es una tecnología de red de área local (LAN) que transmite información entre computadores a una velocidad de 10 Mbps (Velocidad estándar Ethernet), 100 Mbps red conocida como Fast Ethernet, y 1000 Mbps llamado Gigabit Ethernet.

La red Ethernet es una red abierta, no propietaria, y es ampliamente utilizada en la industria, el estándar está de acuerdo al modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection).

En la industria el Ethernet se utiliza para aplicaciones de información y aplicaciones de control, siendo los requerimientos de uso distintos.

**1. Ethernet para Aplicaciones de Información.-** Se utiliza para las actividades no críticas del sistema de control, por ejemplo, descarga del programa de PLC, monitoreo de variables de un proceso, revisión de estatus, procesar datos, y diagnóstico de módulos de control.

**2. Ethernet IP (Industrial Protocolo) para Aplicaciones de Control.-** Se utiliza en actividades de control, donde la velocidad, el rendimiento, el tiempo de respuesta, la disponibilidad y el tiempo de paro son críticos para el control de una planta industrial.



**Figura 8-2** Red Ethernet con PLC ControlLogix

**Fuente:** Publicación 1756-UM051B-ES-P Módulo de interface de comunicación Ethernet ControlLogix. (Noviembre 2000)

En definitiva, el Ethernet IP es un sistema abierto, ofrece interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes, permite configurar, concentrar y controlar dispositivos industriales.



**Figura 9-2** EtherNet/IP (Protocolo industrial)

**Fuente:** Rockwell Software (2015)

Actualmente con el Ethernet IP se consigue:

1. Control de E/S sobre Ethernet
2. Seguridad (interlock) sobre Ethernet
3. Comunicación con chasis remotos sobre Ethernet

### Red ControlNet.-

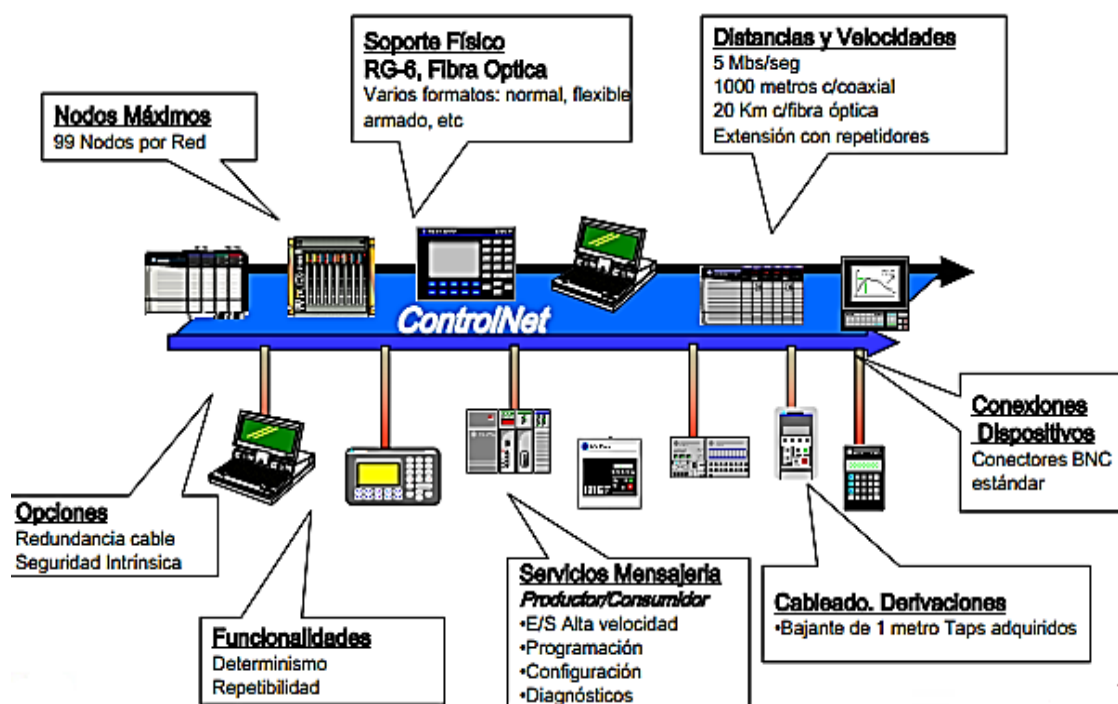
La red ControlNet es una red abierta, ofrece interoperabilidad con productos de otras marcas, alta velocidad en transmisión de datos, link de alta velocidad entre el controlador y las E/S, la red es determinística y usada para transmitir información en tiempo crítico.

La red ControlNet permite tener control en tiempo real y servicio de mensajes punto a punto (peer to peer). A la red ControlNet se puede conectar una variedad de dispositivos y de diferentes fabricantes por el hecho de ser una red abierta, por ejemplo, controladores, variadores de velocidad, computadores, módulos de E/S, y cualquier dispositivo con conexión ControlNet.

**Tabla 4-2** Características del módulo 1756- CNET ControlNet

Tasa	Longitud del cable	Máximo número de nodos
Transmisión: 5 Mbps Tiempo de actualización de red: 2-100ms	1000m (3.280 ft) con 2 dispositivos conectados. 250m (820 ft) con un máximo de 48 dispositivos conectados y con la longitud del cable derivado del dispositivo de 1m (3 ft). Máxima distancia con repetidores 6 Km	99

**Fuente:** Publicación 1756-SG001A-US-P ControlLogix (Julio 2000)



### Figura 10-2 Características ControlNet

**Fuente:** Rockwell Software (2015)

*Red DeviceNet.-*

DeviceNet al igual que ControlNet es una red abierta, se comunica con cualquier dispositivo DeviceNet de cualquier fabricante, la red es usada especialmente para comunicarse con

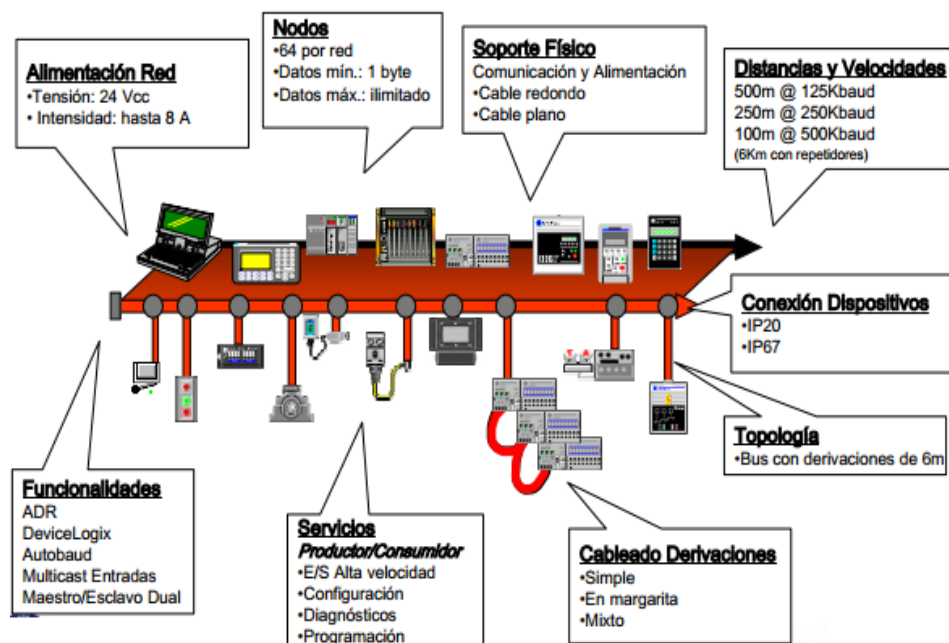
dispositivos de campo (bajo nivel) tales como sensores y actuadores, pero también se usa para comunicarse con dispositivos de alto nivel como por ejemplo los Controladores.

**Tabla 5-2** Características del módulo 1756- DNET DeviceNet

Tasa	Longitud cable principal	Longitud acumulada de cable derivado	Máxima longitud cable derivado	Máximo número de nodos
125 Kbps	500m (1.640 ft)	125m(512 ft)	6m (20 ft)	64
250 Kbps	250m (820 ft)	78m (256 ft)	6m (20 ft)	64
500 Kbps	100m (328 ft)	39m (128 ft)	6m (20 ft)	64

**Fuente:** Publicación 1756-SG001A-US-P ControlLogix (Julio 2000)

Según la tabla la velocidad de transmisión de datos es inversamente proporcional a la longitud del trunk, es decir a mayor velocidad de transmisión menor longitud de red y viceversa.



**Figura 11-2** Características DeviceNet

**Fuente:** Rockwell Software 2015

### Tipos y Tamaños de PLC

Generalmente se fabrican tres gamas de PLC para ser utilizados a las necesidades específicas de la industria.

### *Sistemas de Control Grandes.-*

Los PLC grandes se adaptan para aplicaciones de control exigente y cuyas características son las siguientes:

1. Son de arquitectura modular
2. Tienen múltiples opciones de E/S (entradas salidas)
3. Tienen una gama amplia de opciones de red.

Los PLC grandes proporcionan capacidades de control para todas las disciplinas, va desde procesos, seguridad, y movimiento.

Diseñados para control distribuido o de supervisión, son de alto rendimiento y confiabilidad.

Existe una estrecha relación entre el software de programación RSLogix 5000 (actualmente Estudio 5000 para las nuevas versiones L7), el controlador ControlLogix y las E/S reduciendo el costo y tiempo en el desarrollo, puesta en marcha y durante el funcionamiento normal de aplicaciones.

Los modelos de PLC que pertenecen a este grupo son:

1. ControlLogix Control System.
2. GuardLogix Integrated Safety System GuardLogix
3. PLC-5 Controllers
4. SoftLogix Control System

### *Sistemas de Control Pequeños.-*

La gama de PLC pequeños es utilizado para aplicaciones de medio rango, son de diseño compacto y modulares, tienen características y flexibilidad similares a los PLC grandes, existen modelos estándar y de seguridad, generalmente se utiliza para control local de una máquina, aplicaciones batch (por lotes), y automatización de edificios. Los modelos de PLC que pertenecen a este grupo son:

1. Compact GuardLogix Safety Controllers

2. CompactLogix Control Systems
3. SLC 500 Controllers
4. SmartGuard 600 Safety Controllers with Safety

#### *Sistemas de Control Micro & Nano.-*

Estos PLC proveen soluciones de bajo costo para equipos que requieren funciones de control básicas, son compactos, y tienen integrados las E/S y las comunicaciones, son fáciles de usar y son ideales para aplicaciones de control pequeñas.

Los modelos de PLC que pertenecen a este grupo son:

1. Micro800 Control Systems
2. MicroLogix Systems
3. Pico System

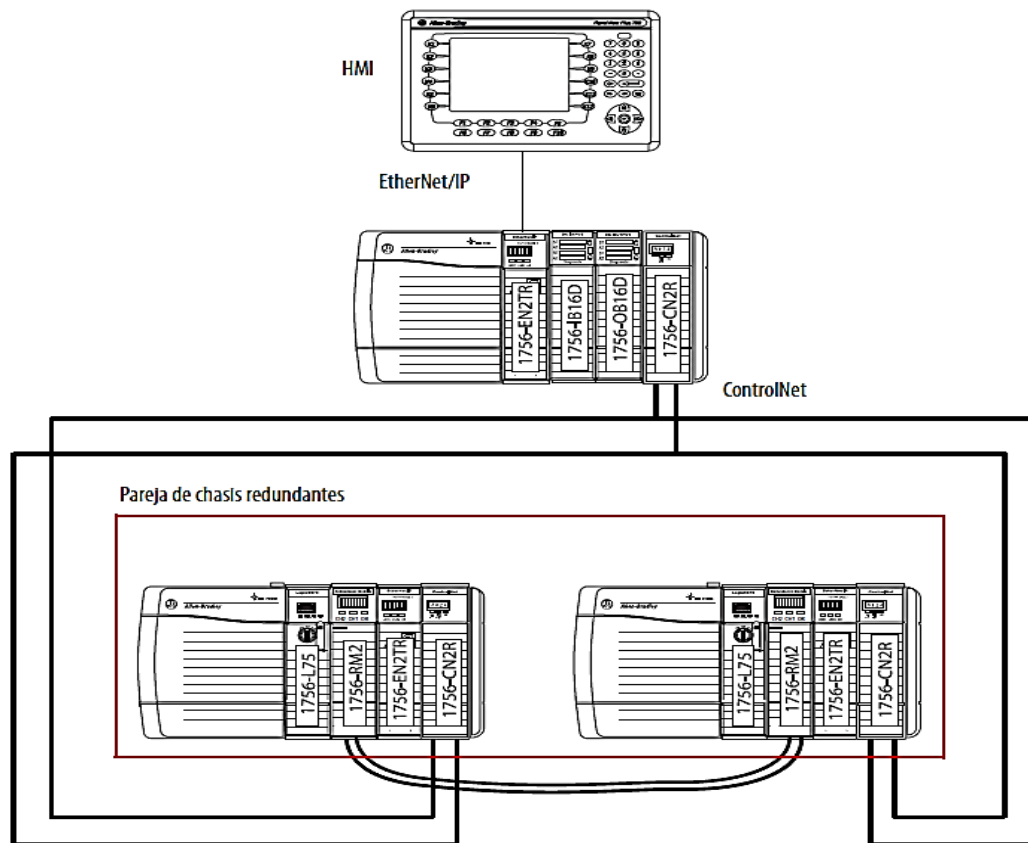
#### *PLC Redundantes.-*

El sistema de redundancia ControlLogix usa un idéntico par de chasis para mantener funcionando la maquinaria o proceso si un problema ocurre con un controlador, en caso de que falle el controlador del chasis primario el controlador del chasis secundario toma el control.

Las parejas de chasis redundantes están sincronizadas por los módulos de redundancia 1757-SRM (se utiliza también los módulos 1756-RM2/A, 1756-RM2XT, 1756-RM, 1756-RMXT para las versiones igual o superiores a 16.057), hay un módulo redundante en cada chasis, el par de módulos redundantes están continuamente comunicándose entre sí.

Las parejas de chasis redundantes tienen los mismos componentes idénticos, para que funcione el sistema se requiere al menos un módulo de redundancia y una tarjeta de comunicación ControlNet o EtherNet IP en cada chasis.





**Figura 12-2** Redundancia ControlNet

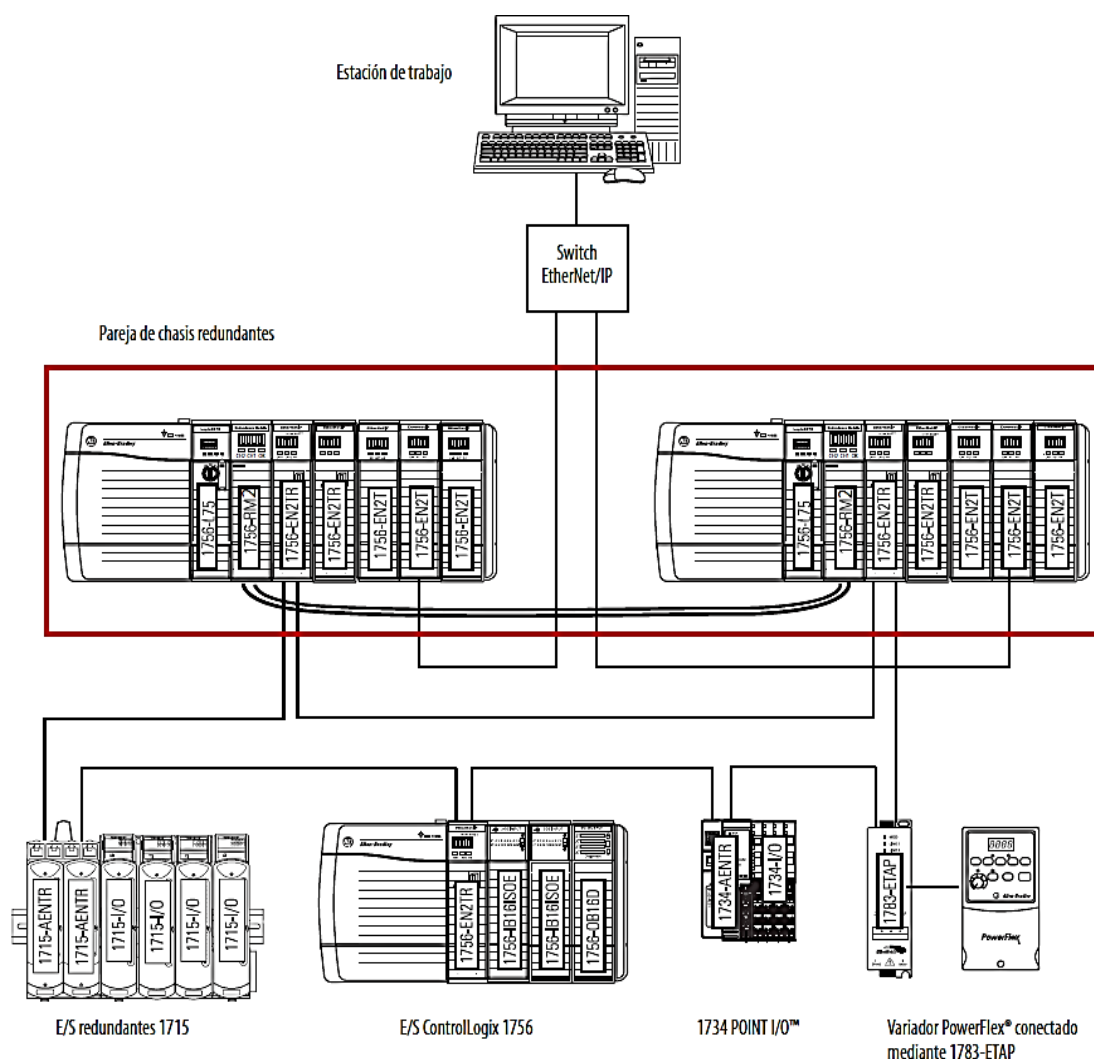
**Fuente:** Publicación 1756-UM535D-ES-P Sistema de redundancia con características mejoradas ControlLogix (Noviembre 2012)

En el ejemplo las tarjetas utilizadas en los chasis redundantes son:

**Tabla 6-2** Chasis redundantes (a)

Ítem	Catálogo	Descripción	Slot
1	1756-L75	Controlador ControlLogix	0
2	1756-RM2	Módulo redundante	1
3	1756-EN2TR	Módulo de comunicación Ethernet IP	2
4	1756-CN2R	Módulo de comunicación ControlNet	3

Realizado por: Marco Cunachi



**Figura 13-2** Redundancia EtherNet IP

**Fuente:** Publicación 1756-UM535D-ES-P Sistema de redundancia con características mejoradas ControlLogix (Noviembre 2012)

En el ejemplo las tarjetas utilizadas en los chasis redundantes son:

**Tabla 7-2** Chasis redundantes (b)

Ítem	Catálogo	Descripción	Slot
1	1756-L75	Controlador ControlLogix	0
2	1756-RM2	Módulo redundante	1
3	1756-EN2TR	Módulo de comunicación Ethernet IP	2
4	1756-EN2TR	Módulo de comunicación Ethernet IP	3
5	1756-EN2T	Módulo de comunicación Ethernet IP	4
6	1756-EN2T	Módulo de comunicación Ethernet IP	5
7	1756-EN2T	Módulo de comunicación Ethernet IP	6

Realizado por: Marco Cunachi

**1. Switchover.-** El termino switchover se utiliza cuando hay la transferencia de control desde el controlador primario al controlador secundario, después del switchover el controlador que toma el control es el primario y el otro viene a ser el secundario (antes del switchover era el primario).

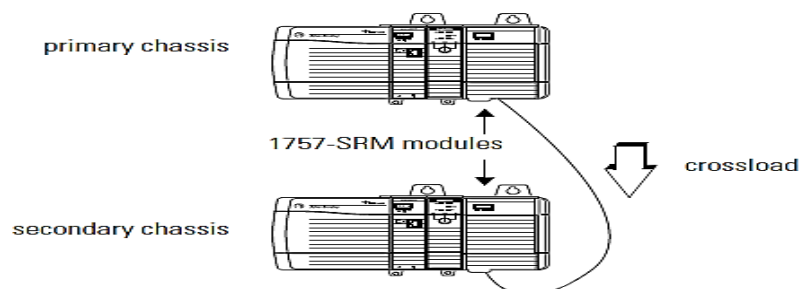
El switchover se produce por cualquiera de las siguientes situaciones:

1. Pérdida de energía eléctrica.
2. Falla mayor del controlador.
3. Fallo de la tarjeta ControlNet o de la tarjeta EtherNet según sea el caso de redundancia.
4. Fallo de la tarjeta de Redundancia 1757-SRM.
5. Desconexión o rotura de la red ControlNet o EtherNet.
6. Retiro o inserción de un módulo en cualquier chasis.
7. Comando desde el Software RSLinx.

**2. Sincronización.-** Cuando se pone en marcha un sistema redundante primero se produce la sincronización en donde el modulo redundante 1756-SRM comprueba que las tarjetas instaladas en los dos chasis sean compatibles entre sí, luego carga el contenido del programa y actualiza valores de variables, valores forzados, ediciones en línea, o cualquier otra información del controlador primario al secundario, a este proceso se le conoce como crossload y se repite cada vez que el controlador primario ejecuta la lógica de programa.

Cuando falla el controlador primario el controlador secundario toma el control siempre y cuando tenga cargado el mismo programa que el primario, y que los valores E/S y de memorias internas estén actualizadas, al proceso de pasar la información del controlador primario al secundario se lo conoce como crossload.

Cuando el controlador ControlLogix muestra en la pantalla el estatus disqualified quiere decir que el controlador secundario ha fallado la sincronización con el primario y no es capaz de tomar control del proceso.



**Figura 14-2** Crossload desde el controlador primario al secundario

**Fuente:** Publicación 1756-UM523C-EN-P ControlLogix Redundancy System (Junio 2003)

**3. Tipos de Redundancia.-** Los fallos y fallas de los componentes críticos reducen los tiempos de funcionamiento de máquinas y plantas de producción, a menudo resulta en daños emergente y reparaciones prolongadas, en este sentido se incurre en altos costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad de las maquinas provocan perdidas económicas.

La redundancia de equipos electrónicos de control aumenta la disponibilidad de las máquinas, reduciendo los tiempos de parada y optimiza la productividad y confiabilidad.

La combinación del hardware, la arquitectura, y la programación de la aplicación de los PLC garantizan la robustez del sistema de control, obteniéndose alta confiabilidad. La redundancia no solo garantiza la tolerancia a un fallo sino también dependiendo del caso puede garantizar la tolerancia de múltiples fallos. La redundancia de procesadores de PLC más comúnmente usados son los siguientes:

- Redundancia Hot standby
- Redundancia Warm standby

La diferencia entre los dos métodos es el comportamiento durante la conmutación de los procesadores cuando se produce una falla, aquí se maneja dos parámetros, el tiempo requerido para el cambio y el impacto de la conmutación sobre el control.

*Redundancia Hot Standby.-* Este tipo de redundancia es aplicable para sistemas críticos, donde el sistema no tolera cortes cortos de control.

En Hot Standby el procesador secundario trabaja sincronizado con el procesador primario, la sincronización actualiza los valores de entrada y salida del secundario a través del mismo programa de aplicación.

Auto-monitoreo y mecanismos de vigilancia externa integrados al controlador garantiza la rápida reacción a desviaciones de la operación prevista, variables relevantes del proceso y estatus interno están comparadas cíclicamente entre los controladores.

En el hot standby el switchover es sin impacto sobre el control maximizando la confiabilidad y disponibilidad del sistema, por tanto, está bien adaptado para el control y monitoreo crítico.



**Figura 15-2** PLC ControlLogix redundantes sincronizados

**Fuente:** Planta de generación eléctrica Wartsila Vasa 32

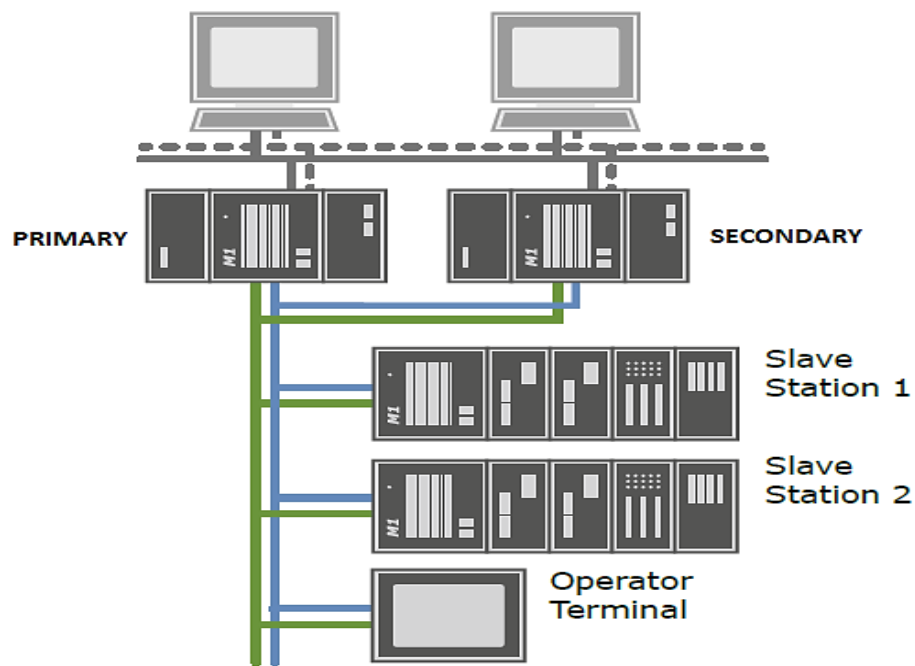
Estatus del módulo 1756-RM en el Rack 00 indica PRIM y el estatus del módulo 1756-RM en el Rack 01 indica SYNC.

*Redundancia Warm Standby.*- Los sistemas redundantes Warm Standby se caracterizan por el hecho de que el controlador secundario está activo en paralelo con el controlador primario, en el caso ideal recibe y procesa todos los datos de los equipos conectados.

Mecanismos de auto-monitoreo permiten la detección automática de fallos, esto da lugar a la conmutación autónoma de los controladores (se puede prescindir de un disparador externo).

A pesar de la lectura paralela y el procesamiento de información del estatus de los datos de entrada, los valores medidos y el estatus entre los dos controladores no están sincronizados.

La autonomía de los controladores primario y secundario es una característica del Warm Standby, en estas condiciones solo es posible un switchover duro (directo, sin sincronismo) y de corta duración, este tipo de Standby solo se debe utilizar en sistemas que aceptan la pérdida de procesamiento y una conmutación fuerte de los controladores, por ejemplo es conveniente utilizar en aplicaciones que solamente tengan acceso de lectura, por tanto es una solución rentable y confiable para sistemas de alarma y monitoreo, no se debe usar en sistemas de control críticos.



**Figura 16-2** PLC Redundantes sin la opción de sincronismo

**Fuente:** Bachmann electronic GmbH. (2015)

#### *Redundancia de Red.-*

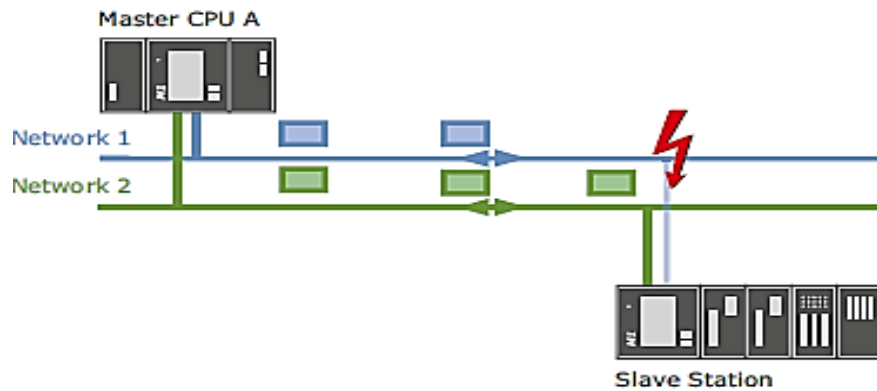
Redundancia de red = redundancia de comunicaciones + redundancia del medio.

Frecuentemente el mal funcionamiento se puede atribuir a los datos de los canales de transmisión alterados o defectuosos, en este caso el remedio es el uso redundancia en la comunicación o en la media.

El principio básico de redundancia en comunicación es la transmisión de información dos o más veces. Si esto ocurre de manera secuencial a través de la misma línea de transmisión (media), se reduce el ancho de banda efectivo (bandwidth), así como puede ocurrir una falla completa en el caso de problemas de conexión.

Cuando se utiliza la redundancia de medios se duplica el canal de conexión física, si en la red si se implementan el doble canal de conexión física (rutas de cableado), el riesgo de fracaso total debido a un solo evento está prácticamente eliminada.

Solo a través de la aplicación simultánea de ambas tecnologías se logra la mejor disponibilidad, la combinación de redundancia de comunicaciones y redundancia de medios se resume como la redundancia de red.



**Figura 17-2** Red redundante

**Fuente:** Bachmann electronic GmbH. (2015)

### 2.1.2.2 Confiabilidad

#### Definiciones

##### Confiabilidad.-

La capacidad de un equipo o sistema de realizar una función requerida sin fallo bajo condiciones establecidas para un periodo de tiempo determinado. (Reliability: A Practitioner's Guide. 2003). La probabilidad que un ítem pueda realizar una función requerida bajo ciertas condiciones para un intervalo de tiempo dado,  $(t_1, t_2)$ . (Cabau, E. 2000).

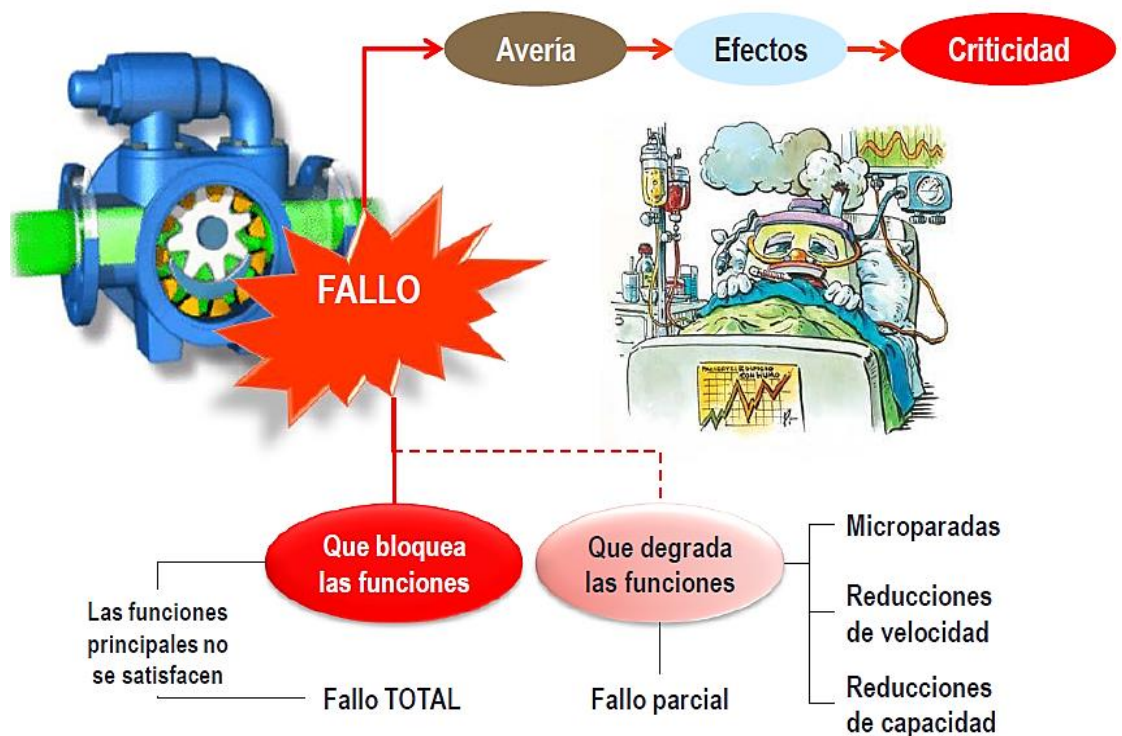
##### Failure (Fallo).-

El fallo del sistema puede, ser definido como un suceso cuya realización provoca, o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos especificados.

Independientemente de las razones de su aparición, un fallo causará la transición del sistema desde su estado satisfactorio a un nuevo estado insatisfactorio, conocido como estado de fallo, SoFa (State of Failure). (Knezevic, 1996).

Por tanto, desde el punto de vista de la capacidad para satisfacer las «necesidades» de acuerdo con las especificaciones establecidas, todos los sistemas creados por el hombre pueden pertenecer a uno de los dos posibles estados:

- Estado de Funcionamiento, SoFu (State of Functioning).
- Estado de Fallo, SoFa (State of Failure).



**Figura 18-2** Tipos de fallos

**Fuente:** Sexto\_Ingenieria-Fiabilidad-Master\_ESPOCH\_\_v1.pdf (2015)

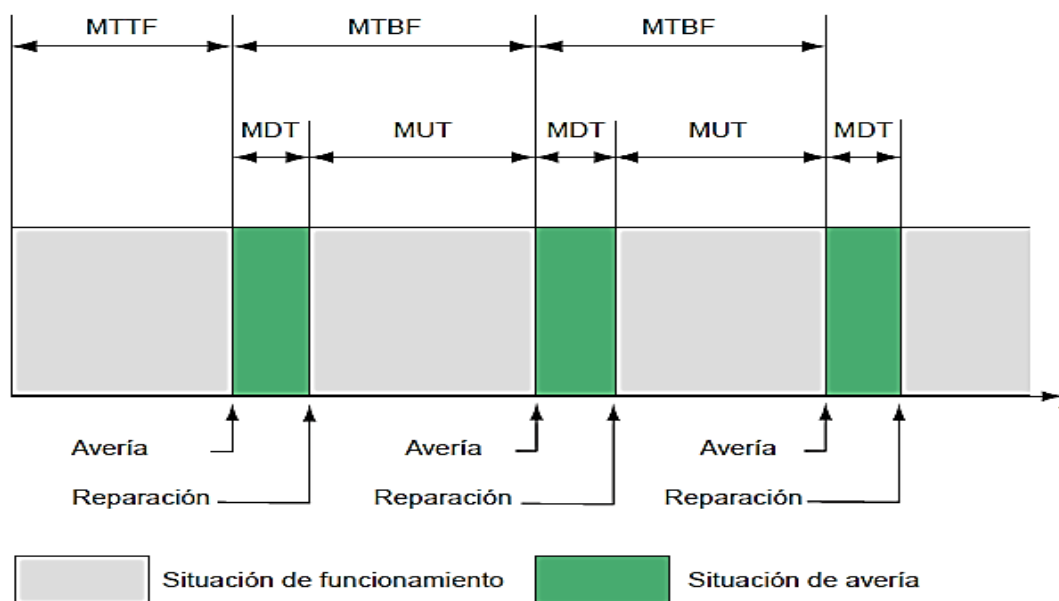
Según el gráfico, una ocurrencia de un fallo (failure) es un evento, y el ítem pasa al estado de avería (fault). Para ítems no reparables: Es la terminación de la capacidad de un elemento para realizar una función requerida.

#### Avería.-

Es la incapacidad de un ítem para realizar la función requerida debido a un estado interno. “La avería de un elemento es el resultado de un fallo, bien del elemento mismo o de cualquier etapa precedente del ciclo de vida (especificación, diseño, fabricación o mantenimiento, por ejemplo)”. (Asociación española para la calidad AEC, 2016).



### Magnitudes en Función del Tiempo



**Figura 19-2** Diagrama de tiempos medios de un sistema que no precisa interrupción del funcionamiento para el mantenimiento preventivo

**Realizado por:** Emmanuel Cabau (2000)

**Fuente:** Cuaderno Técnico n° 144, p.11

Se debe entender los tiempos medios que son los que definen la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos.

**MTTF o MTFF** (En inglés Mean Time For First Failure): Tiempo medio hasta la falla, se utiliza en equipos que solo fallan una vez, son equipos no reparables.

**MTBF** (En inglés Mean Time Between Failure): Tiempo medio entre dos fallos, se utiliza en sistemas o equipos reparables.

**MDT** (En inglés Mean Down Time): Tiempo medio del fallo, entendiéndose como el tiempo no operativo del equipo, comprendiendo la detección de la avería, el tiempo de intervención, el tiempo de reparación y el tiempo de puesta en servicio.

**MUT** (En inglés Mean Up Time): Tiempo medio de funcionamiento entre fallas.

**MTTR** (En inglés Mean Time To Repair): Tiempo medio de reparación.

Según manifiesta Alberto Mora en su obra sobre Mantenimiento Industrial Efectivo (2012); en las empresas muy maduras u organizadas en mantenimiento y en el área de ingeniería de fábricas, generalmente se cumple lo siguiente:

- El MUT es infinitamente superior al MDT, al menos unas 10 veces
- Los tiempos de logística para la reparación tienden a cero o no existen.
- Por consiguiente, se cumple:
- $MTBF = UT + DT$ , pero si  $UT \gg DT$ , entonces  $MTBF = UT$
- $DT = LDT$  (Logistic Down Time, logística de DT) +  $MTTR$ , con el LDT despreciable o igual a cero, entonces  $DT = MTTR$

### Parámetros de Confiabilidad

Las plantas requieren que sus procesos y equipos sean confiables, disponibles y mantenibles.

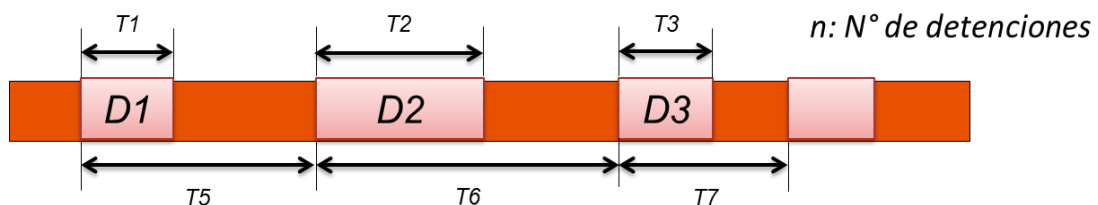
### Confiables.-

Los parámetros que definen la confiabilidad son el tiempo medio entre fallas MTBF (en inglés Mean Time between Failures) y la tasa de fallas  $\lambda$ .

**1. MTBF.-** Es el tiempo medio entre fallas y refleja con qué frecuencia ocurre una detención o falla.

$$MTBF = \frac{(T5-T1)+(T6-T2)+(T7-T3)}{n}$$

**Ecuación 1-2**



**Figura 20-2** Parámetros MTBF

**Realizado por:** Sebastián Placencia

**Fuente:** Terminología del mantenimiento

**2. Tasa Falla  $\lambda$ .**- Es el número de veces que un ítem falla en un determinado tiempo. Se define como el número de fallas de un dispositivo en un intervalo de tiempo dado. En caso que el tiempo considerado sea muy pequeño se denomina “tasa instantánea de fallo”.

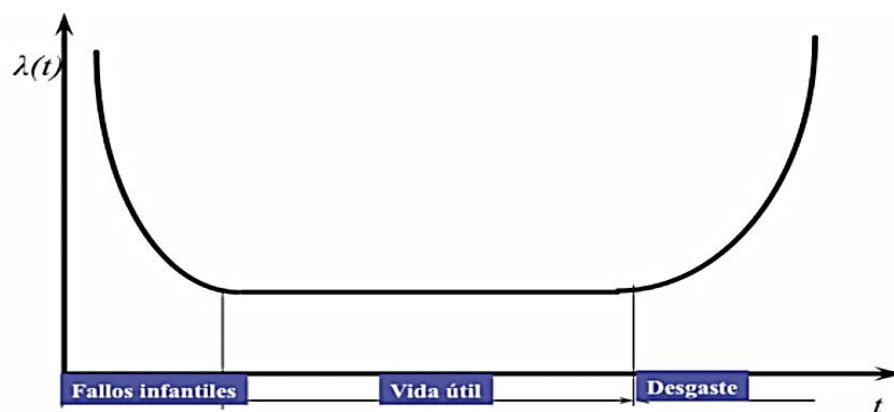
La tasa de fallas  $\lambda$  no es constante en el ciclo de vida de un componente, equipo o sistema, de tal manera que se comporta como se indica en el gráfico de la curva de la bañera, denominada así por su forma.

En la curva de la bañera se identifica claramente tres periodos diferenciados.

**Fallos Infantiles o también llamados Mortalidad Infantil.**- Los fallos en este periodo se denominan infantiles y principalmente pueden ser debidos a mecanismos de fallos relacionados con problemas puntuales de fabricación, transporte o montaje.

**Vida Útil.**- En este periodo la tasa de falla es constante. Los mecanismos de fallo predominantes en este periodo son debidos al azar.

**Desgaste.**- “La tasa de fallo es creciente, las averías y costes de mantenimiento se disparan. Los mecanismos de fallo predominantes en esta etapa son debidos a la aparición de fenómenos de degradación, desgaste o envejecimiento.” (AEC, 2016).



**Figura 21-2** Curva de la bañera

**Fuente:** Asociación Española para la Calidad AEC (2016)

Para los equipos electrónicos en la curva de tasa de fallos solo se diferencian dos periodos, el periodo de fallos infantiles y el de vida útil, cuando los equipos están instalados y funcionando por algunos años prácticamente la tasa de fallos es constante y la confiabilidad se puede calcular utilizando la función exponencial siguiente:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

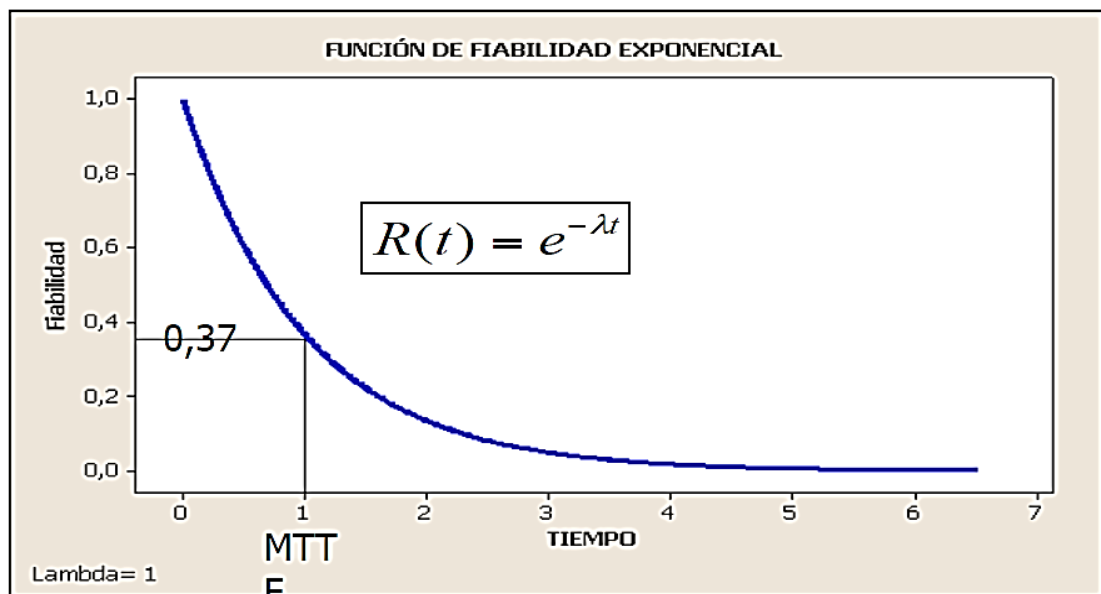
**Ecuación 2-2**

Dónde:

$R(t)$  es la confiabilidad en función del tiempo.

$\lambda$  es la tasa de fallos.

$t$  = es el tiempo



**Figura 22-2** Curva de confiabilidad para tasa de fallos constante

**Fuente:** Asociación Española para la Calidad AEC (2016)

Para el caso de un componente con tasa de falla constante, se tiene:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

**Ecuación 3-2**

Para evaluar la confiabilidad de componentes o sistemas electrónicos, el concepto de tasa de falla constante es usado, es decir las tasas de falla de componentes electrónicos permanece constante durante la vida útil del componente. (Bloch y Geitner, 2006)

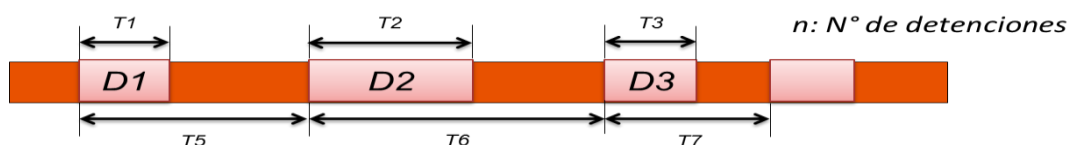
### Mantenibles.-

**Mantenibilidad.-** Es la capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos (Holguín, 2013).

La mantenibilidad se mide a través del termino MTTR (en inglés Mean Time to Repair) que es el tiempo medio de reparación.

$$MTTR = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{n}$$

**Ecuación 4-2**



**Figura 23-2:** Mantenibilidad a través de MTTR

**Realizado por:** Sebastián Placencia

**Fuente:** Terminología del mantenimiento

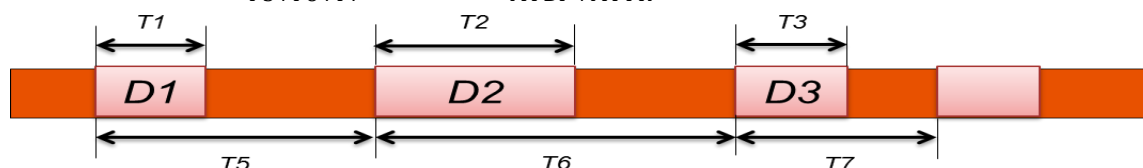
### Disponibles

**Disponibilidad.-** Es la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, “asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos” (Holguín, 2013).

La disponibilidad se mide a través del termino A (en inglés Availability).

$$A = \frac{(T_5 - T_1) + (T_6 - T_2) + (T_7 - T_3)}{T_5 + T_6 + T_7} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

**Ecuación 5-2**



**Figura 24-2** Disponibilidad a través de Availability

**Realizado por:** Sebastián Placencia

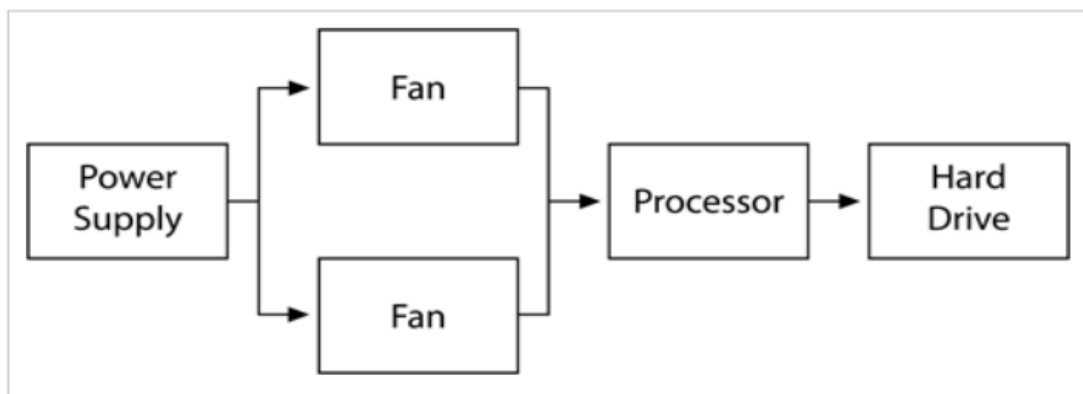
**Fuente:** Terminología del mantenimiento

### 2.1.2.3 Diagrama de Bloques de Confiabilidad (RBD Reliability Block Diagram)

Los diagramas de bloques son ampliamente utilizados en la ingeniería y en la ciencia, además existen en muchas diferentes formas, se utiliza para definir la interrelación entre componentes y definir un sistema, por tanto, aquí se usa como un diagrama de bloques de confiabilidad RBD.

El diagrama de bloques de confiabilidad es un diagrama de eventos. La configuración de un RBD implica primero la partición del ítem en elementos con tareas claramente definidas. Los elementos los cuales son necesarios para la función requerida son entonces conectados en serie, mientras que los elementos que pueden fallar sin efecto en la función requerida están conectados en paralelo (redundancia).

Un diagrama de bloques de confiabilidad es una representación gráfica de los componentes del sistema prudentemente conectados. Los diagramas de confiabilidad pueden diferir de cómo los componentes son físicamente conectados. Un RBD de un sistema informático simplificado con una configuración de ventilador redundante se muestra a continuación:

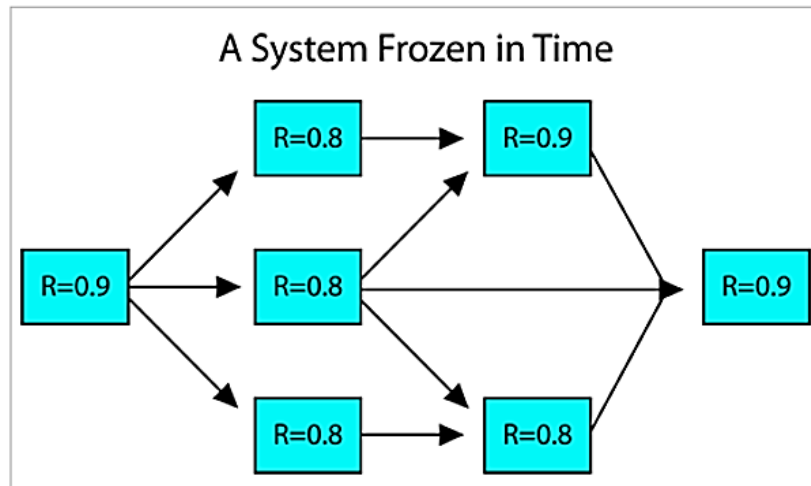


**Figura 25-2** Ejemplo de un RBD

*Fuente: Relia Soft. (2014)*

Los RBDs son contruidos con bloques. Los bloques son conectados con líneas de dirección que representan la relación de confiabilidad entre los bloques. (ReliaSoft, 2014).

Utilizando RBDs se realiza el análisis estático de confiabilidad, un bloque estático es un bloque con una confiabilidad que se conoce en momento dado, cada bloque tiene su confiabilidad en un determinado tiempo, pero se desconoce la confiabilidad total del sistema, luego que se obtenga la confiabilidad del sistema hay que realizar el análisis en función del tiempo utilizando distribuciones de falla exponenciales de cada componente, un RBD de análisis de confiabilidad se presenta a continuación:



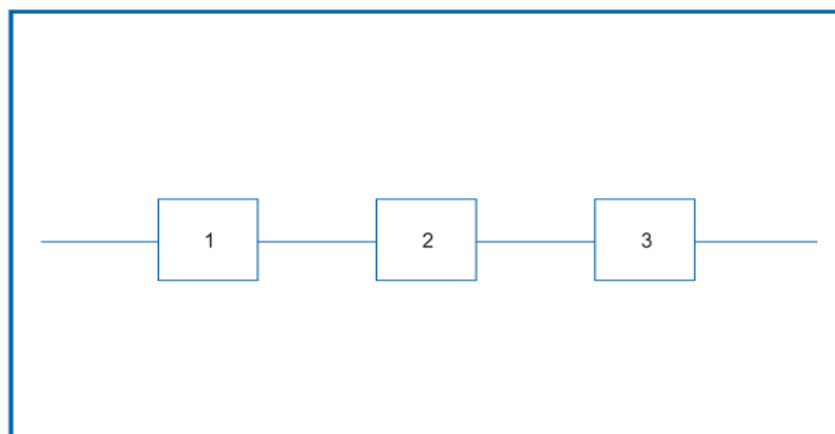
**Figura 26-2** RBD para análisis de confiabilidad

**Fuente:** Relia Soft. (2014)

En sistemas complejos para resolver el RBD hay que simplificar el sistema a bloques serie y paralelo.

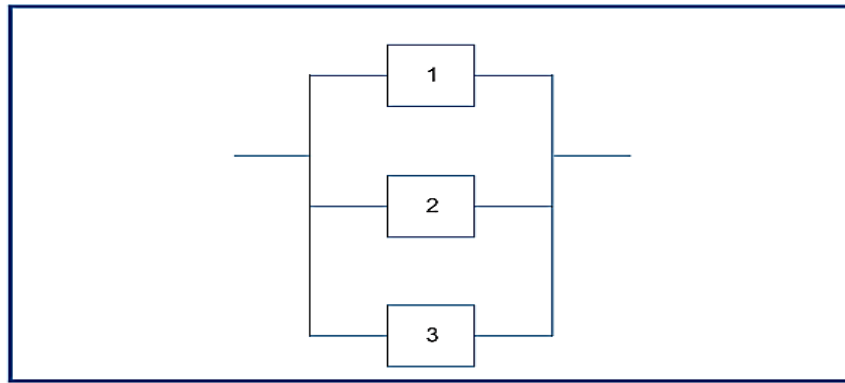
El estado global de un sistema está determinado por el estado de sus componentes, entonces la confiabilidad global del sistema depende de las confiabilidades de sus componentes.

Hay cuatro estructuras básicas entre la confiabilidad de un dispositivo y sus componentes. Estos son: serie, paralelo, k-de-n, y todas las demás.



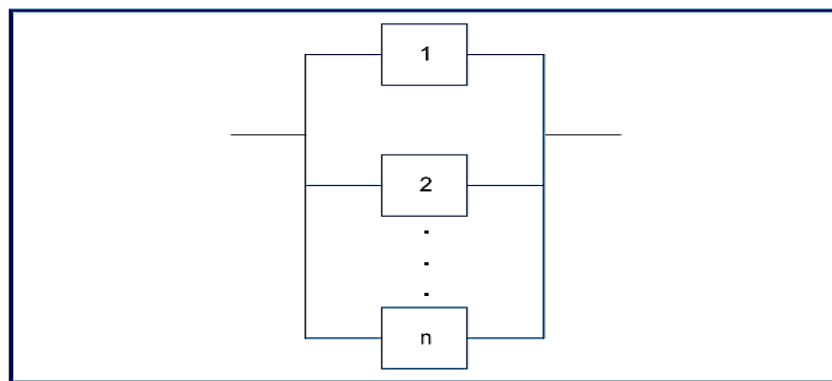
**Figura 27-2** Sistema en serie

**Fuente:** Nachlas, J. (1995)



**Figura 28-2** Sistema en paralelo

Fuente: Nachlas, J. (1995)



**Figura 29-2** Sistema k-de-n

Fuente: Nachlas, J. (1995)

“Un ejemplo de un sistema k- de - n es el eje trasero de un gran remolque-tractor en el que el funcionamiento de tres de las cuatro ruedas es suficiente para asegurar la movilidad.” (Nachlas, 1995).

En la categoría “todos los demás” están las diferentes combinaciones de las partes del sistema, para resolver este tipo de sistemas complejos hay que llevarlos a sistemas equivalentes serie paralelo.

### Confiabilidad de las Estructuras en Serie

En los sistemas en serie una falla de un componente provoca la falla de todo el sistema, al descomponer un sistema en subsistemas, se observa que gran cantidad de subsistemas están en un arreglo en serie.



En definitiva, todos los componentes en serie de un sistema deben ser exitosos para que el sistema sea exitoso.

Para sistemas que tengan subsistemas independientes, es decir en donde la falla de un subsistema no afecta la tasa de fallas de otros subsistemas, la confiabilidad del sistema está dada por la siguiente ecuación:

$$R_{ss} = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad \text{Ecuación 6-2}$$

$$R_{ss} = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = e^{-(\sum_{i=1}^n \lambda_i) t}$$

$$\lambda_{ss} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

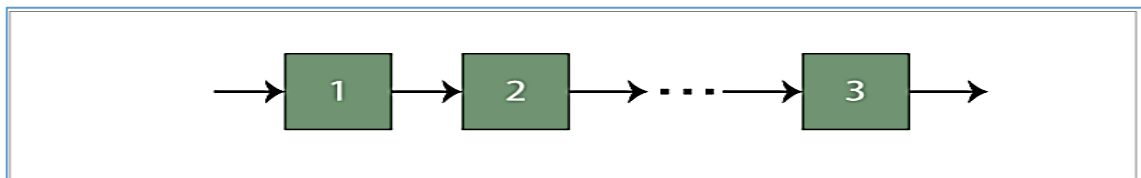
Dónde:

$R_{ss}$  es la confiabilidad del sistema serie

$R_i$  es la confiabilidad del subsistema i-enésimo

$\lambda_i$  es la tasa de fallos del subsistema i-enésimo

$\lambda_{ss}$  es la tasa de fallos del sistema en serie



**Figura 30-2** RBD en serie

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation, May 5 2015)

### Confiabilidad de las Estructuras en Paralelo

En una estructura de confiabilidad en paralelo el sistema fallara si todos sus subsistemas fallan, la estructura en paralelo se usa para mejorar la confiabilidad del sistema.

La probabilidad de falla para un sistema con n subsistemas independientes en paralelo es la probabilidad que el subsistema 1 falle y el subsistema 2 falle y todos los otros subsistemas fallen. Dicho de otra manera, si el subsistema 1 es exitoso o el subsistema 2 es exitoso o cualquiera de los n subsistemas son exitosos, entonces el sistema es exitoso.

Para sistemas que tengan subsistemas independientes, es decir en donde la falla de un subsistema no afecta la tasa de fallas de otros subsistemas, la confiabilidad del sistema está dada por la siguiente ecuación:

$$R_{sp}(t) = 1 - (1 - R_1(t))(1 - R_2(t)) \dots (1 - R_n(t)) \quad \textbf{Ecuación 7-2}$$

$$R_{sp}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t))$$

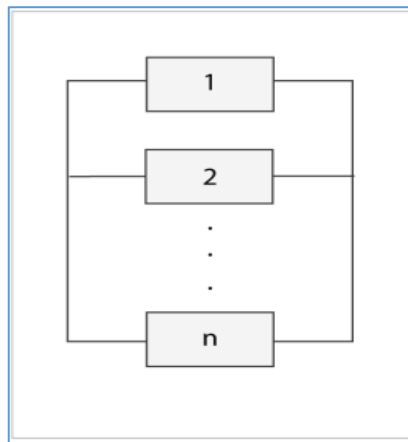
$$R_{sp}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t})$$

Dónde:

$R_{sp}$  es la confiabilidad del sistema paralelo

$R_i$  es la confiabilidad del subsistema i-enésimo

$\lambda_i$  es la tasa de fallos del subsistema i-enésimo



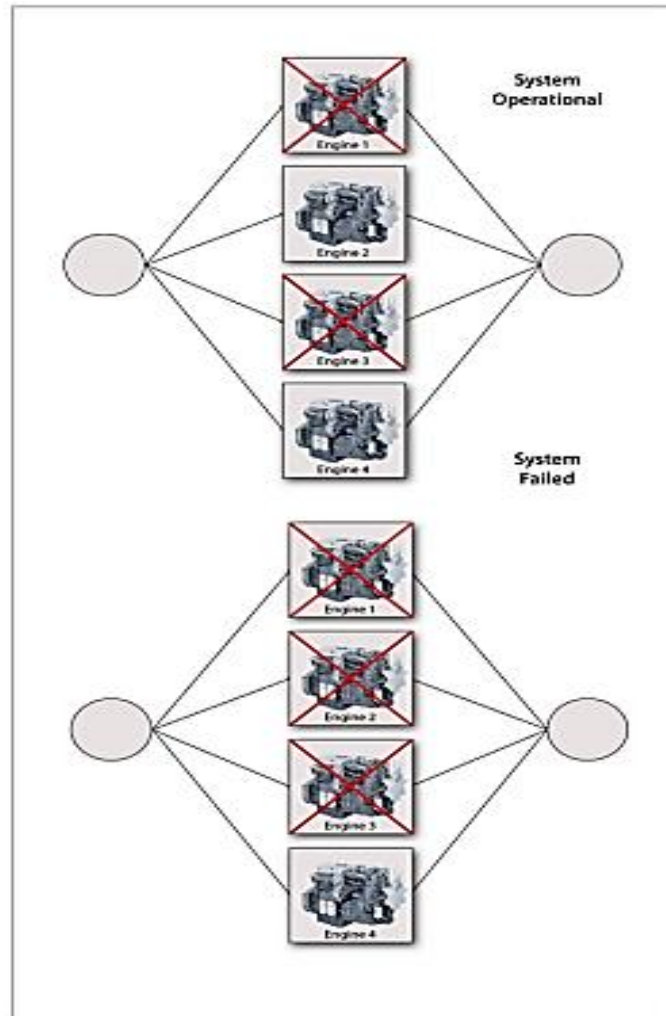
**Figura 31-2** RBD en paralelo

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation (May 5 2015)

### Confiabilidad de las Estructuras en Paralelo k-out-of-n

La configuración k-out-of-n es un caso especial de redundancia en paralelo. Este tipo de configuración requiere que al menos k componentes tengan éxito del total de n componentes en paralelo para que el sistema tenga éxito.

Por ejemplo, considerar un aeroplano que tiene 4 motores. Además, supongamos que el diseño de la aeronave es tal que al menos dos motores están obligados a funcionar para que la aeronave permanezca en el aire. Esto significa que los motores tienen una confiabilidad acertada en una configuración k-out-of-n, donde  $k = 2$  y  $n = 4$ . Más específicamente, ellos están en una configuración 2-out-of-4. (System Analysis Reference – Reliasoft Corporation, May 5 2015)



**Figura 32-2** RBD Configuración k-out-of-n para componentes idénticos e independientes

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation (May 5 2015)

El más simple caso de componentes en configuración k-out-of-n es cuando los componentes son idénticos e independientes.

En este caso la confiabilidad del sistema es evaluado con la siguiente distribución binomial:

$$Rs(k, n, R) = \sum_{r=k}^n \binom{n}{r} R^r (1 - R)^{n-r} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

Dónde:

n es el número total de componentes en paralelo

k es el mínimo número de componentes requeridos para que el sistema sea exitoso

R es la confiabilidad de cada componente

$\binom{n}{r}$  es el combinatorio de r elementos en un conjunto de n

La ecuación que caracteriza al combinatorio es:

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

### Redundancia Standby

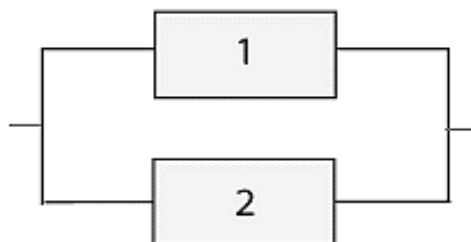
En redundancia standby los componentes redundantes están en una condición de carga ligera o de no carga mientras no se necesitan y bajo plena carga cuando ellos están activados.

Los componentes tienen dos estados: un estado activo y un estado en standby. Los componentes de redundancia standby tienen dos distribuciones de falla, uno para cada estado.

Cuando los componentes están en el estado standby, ellos tienen una distribución de falla de inactividad, y cuando están operando ellos tienen una tasa de fallo de actividad.

**1. Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Hot Standby.-** En el caso en el que la distribución de falla de inactividad y actividad son los mismos, las unidades están en una simple configuración en paralelo, a esta configuración se la llama hot standby.

La configuración más básica de hot standby es dos ítems en paralelo, ambos de las cuales pueden realizar las funciones especificadas individual e independientemente.



**Figura 33-2** Dos ítems en paralelo, hot standby

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation (May 5 2015)

Para ítems independientes hay cuatro posibles estados del sistema:

- Ambos 1 y 2 funcionando, entonces el sistema funcionando.
- 1 en falla y 2 funcionando, entonces el sistema funcionando.
- 1 funcionando y 2 en falla, entonces el sistema funcionando.
- 1 en falla y 2 en falla, entonces el sistema en falla.

La ecuación de confiabilidad que describe al sistema es la siguiente:

$$R_{sp}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad \text{Ecuación 10-2}$$

$$R_{sp}(t) = 1 - (1 - R_1(t))(1 - R_2(t))$$

$$R_{sp}(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t)R_2(t)$$

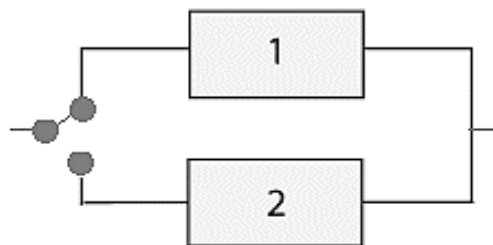
$$R_{sp}(t) = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t}$$

Para ítems iguales, entonces  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ , la ecuación es la siguiente:

$$R_{sp}(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \quad \text{Ecuación 11-2}$$

**2. Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Warm Standby.-** Cuando la tasa de falla de los componentes standby es más bajo en modo inactivo que en modo activo, a esta configuración se la llama warm standby.

En la estructura warm standby el componente en standby tiene la probabilidad de fallar mientras espera ser usado.



**Figura 34-2 # Ítems en paralelo, warm standby con switch ideal**

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation (May 5 2015)

Haciendo uso de ecuaciones tomadas de Reliability calculations for complex systems – Malte Lenz y Joan Rhodin (2011, pág. 75), la confiabilidad para dos componentes se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R_{sp}(t) = R_1(t) + \int_0^t f_1(x) R_{2sb}(x) R_{2op}(t-x) dx \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Dónde:

$R_1(t)$  es la confiabilidad del componente 1

$R_{2sb}(t)$  es la confiabilidad del componente 2 en standby

$R_{2op}(t)$  es la confiabilidad del componente 2 en operación

$f_1(x)$  es la función de densidad de probabilidad

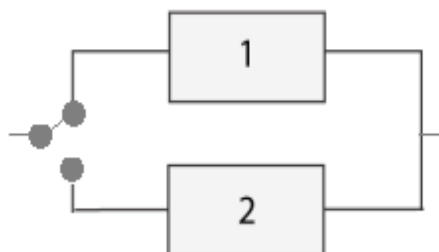
La función de densidad de probabilidad describe la probabilidad que un componente específico falle en el tiempo  $t$ .

Considerando para el ítem 1 una distribución exponencial normal con tasa de falla  $\lambda$ , y el ítem 2 tiene una tasa de fallo  $\lambda_{sb}$  mientras esta en standby, y  $\lambda$  mientras esta en operación, se calcula la confiabilidad del sistema hasta el tiempo  $t$  bajo las siguientes condiciones:

- El ítem 1 es exitoso hasta el tiempo  $t$
- El ítem 1 es exitoso hasta el tiempo  $x$ , el ítem 2 es exitoso mientras esta en standby hasta el tiempo  $x$ , y el ítem 2 es exitoso en operación para el tiempo  $t-x$
- Para el caso particular cuando los componentes son independientes, cualquier dispositivo de conmutación para llevar al ítem 2 al estado activo es considerado libre de fallas, la confiabilidad del sistema es evaluado en la ecuación anterior, obteniendo:

$$R_{sp}(t) = \begin{cases} \frac{e^{-t(\lambda+\lambda_{sb})}((\lambda+\lambda_{sb})e^{t\lambda_{sb}}-\lambda_{sb})}{\lambda_{sb}}, & t>0 \\ 1, & \text{de otra manera} \end{cases} \quad \text{Ecuación 13-2}$$

**3. Confiabilidad de las Estructuras en Redundancia Cold Standby.-** Cuando la tasa de fallo del componente standby es cero (el componente no puede fallar) en modo inactivo, a esta configuración se la llama cold standby.



**Figura 35-2 # Ítems en paralelo, cold standby con switch ideal**

**Fuente:** System Analysis Reference – Reliasoft Corporation (May 5 2015)

En el gráfico se observa el ítem 1 activo que realiza las funciones del sistema y el ítem 2 pasivo que se vuelve activo para realizar las funciones del sistema si el primer ítem falla.

Se asume lo siguiente:

- La tasa de falla activa de 2 solo se aplica cuando 1 ha fallado
- Cualquier dispositivo de conmutación para llevar a 2 al estado activo es considerado libre de fallas
- La tasa de falla pasiva de 2 es cero
- Las tasas de fallas son constantes
- Entonces durante un intervalo de tiempo,  $t$ , hay tres resultados posibles:
- El ítem 1 sobrevive durante el tiempo  $t$ , entonces el sistema es exitoso.
- El ítem 1 sobrevive durante el tiempo  $t_1$  y el ítem 2 sobrevive el tiempo  $t-t_1$ , entonces el sistema es exitoso.
- Ambos ítems 1 y 2 fallan antes del tiempo  $t$ , entonces el sistema falla.

Para el caso en particular, cuando los componentes son independientes, la confiabilidad del sistema es evaluado con la siguiente ecuación tomada de Reliability calculations for complex systems (Lenz y Rhodin, 2011, pág. 70):

$$Rsp(t) = \frac{\lambda_2 e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{\lambda_1 e^{-\lambda_2 t}}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad \text{Ecuación 14-2}$$

Dónde:

$\lambda_1$  es la tasa de fallas activa del ítem 1

$\lambda_2$  es la tasa de fallas activa del ítem 2

Para ítems iguales, entonces  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ , la ecuación es la siguiente:

$$Rsp(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) \quad \text{Ecuación 15-2}$$

## **2.2 Estado del arte**

### **2.2.1 *Plataforma de Control***

De acuerdo a la investigación elaborada por la autora Katherine Kaiser en su trabajo sobre “Estudio de la plataforma integrada de automatización del fabricante Rockwell Automation y su aplicación como solución real de automatización de un proceso industrial” (2008, p. 132), en donde presenta que la plataforma con mayor importancia es la plataforma de ControlLogix, ya que, en todas sus líneas de equipos, se encuentra integradas, todas las aplicaciones que una industria podría requerir.

Menciona que cuando se debe introducir mejoras en el proceso, existe la posibilidad de agregar módulos de E/S a un sistema ControlLogix en funcionamiento; es decir, elimina el tiempo de parada y obviamente amplía las capacidades del sistema, porque no es necesario parar el controlador o la red con el fin de hacerla más funcional.

Agrega que, desde el punto de vista de la arquitectura integrada, la plataforma que pasa a cumplir un papel más importante es la plataforma de red, puesto que es la que comunica todas las plataformas y a través de la cual es que la parte de supervisión puede tomar decisiones en base a los datos que arrojan los equipos o dispositivos.

Determina que las plataformas de Visualización y gestión cumplen la tarea de dar a conocer los datos recogidos desde los equipos que están en planta. Y, todo lo anterior no podría ser posible si todas las plataformas en conjunto no estuvieran enlazadas; es por eso que la solución que propone Rockwell Automation integra todos los equipamientos.

Finalmente indica que los equipos mostrados en su trabajo y también en varios sistemas de automatización superan por mucho a los tradicionales, ya que un solo equipo de toda la gama que existen cumple con muy altas prestaciones.



### 2.2.2 Controladores

Según presentan los autores de la investigación sobre “Automatización y control de un proceso de destilación de alcohol crudo y etílico por medio de un Pac ControlLogix, con redundancia en control y comunicación, usando RSLogix 5000 V16 e Intouch 10.0”; manifiestan que de acuerdo a las conclusiones alcanzadas sobre la redundancia en control:

*Proporciona la seguridad de que se tiene gobierno sobre el proceso en todo instante, gracias a esta ventaja que ofrece los PAC's ControlLogix 5561, por otra parte, estos controladores por ser de gama alta se pueden fácilmente integrar con otras familias y/o fabricantes, todo esto combinado con su velocidad de procesamiento y característica Multitasking ofrece un mejor desempeño en la ejecución su programación.*

*Con el montaje e implementación de los módulos FlexLogix y la instrumentación instalada en la planta se tiene una protección contra explosiones basado en el criterio de prevención, ya que estos equipos son intrínsecamente seguros.*

*La utilización de instrumentos de última tecnología nos asegura una correcta y fiable lectura de las variables del proceso (temperatura, nivel, etc.) que en conjunto con el procesamiento de estas señales y la acción tomada por el PAC se garantiza la calidad del producto. (Castro, Sucunuta, y Manzur, 2010, p.184)*

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Metodología

La metodología perseverante en la presente investigación supone el uso de los métodos precisos para alcanzar la ejecución del objeto de estudio, por lo que lo someteremos a los métodos Inductivo y deductivo:

Método inductivo, porque parte de hechos particulares para obtener leyes generales.

Método deductivo, ya que parte de las leyes generales a las conclusiones particulares.

#### *Método Cuantitativo y Cualitativo*

De acuerdo al autor investigador Charles Reichardt, quien manifiesta una diferencia consistente de estos métodos, de la siguiente manera:

*Por métodos cuantitativos los investigadores se refieren a las técnicas experimentales aleatorias, cuasi-experimentales, tests “objetivos” de lápiz y papel, análisis estadísticos multivariados, estudios de muestras, etc. En contraste, y entre los métodos cualitativos, figuran la etnografía, los estudios de caso, las entrevistas en profundidad y la observación participativa.*

*Cada uno de estos tipos metodológicos, es decir el cuantitativo y el cualitativo, tiene un grupo de partidarios quienes afirman que sus métodos preferidos son los mejor adecuados para la evaluación. Seguidamente se incluye una muestra de las opiniones que sustentan cada una de las partes del debate. (Reichardt, 1986, p. 3)*

Por lo tanto, el presente trabajo tendrá la posibilidad de utilizar los métodos cuantitativo y cualitativo; ya que para determinar la obsolescencia de las tarjetas del sistema de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila se usará el método cualitativo y

la confiabilidad del sistema será medido con el método cuantitativo de acuerdo a las tasas de falla de los componentes de los PLC ControlLogix.

### 3.2. Técnicas e instrumentos de investigación

**Tabla 1-3** Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	PROCEDIMIENTO
Encuesta, revisión de datos históricos y modelado de datos	<p>Métodos de investigación a ser utilizado:</p> <p>Método inductivo. (Porque parte de hechos particulares para obtener leyes generales.)</p> <p>Método deductivo. (Parte de las leyes generales a las conclusiones particulares.)</p>
	Se recolectará la información en las instalaciones de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21.
	<p>Fechas de recolección de la información:</p> <p>Del 1 de octubre al 30 de Noviembre del 2015.</p>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Investigación de campo (2015)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Diagnóstico

##### 4.1.1 *Planta de Generación en el Bloque 21*

Con base a la investigación personal realizada en la planta de generación en el Bloque 21, se puede manifestar que se encuentra equipada con cuatro motores Wartsila VASA 32 modelo 12V32LN que utilizan como combustible petróleo pesado de 17 grados API.



**Figura 1-4** Grupos electrógenos ubicados en Yuralpa B21

**Fuente:** Planta de Generación Eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa, Bloque 21 (2015)

La capacidad instalada de la planta de generación es de 16 MW, actualmente se generan 7 MW, las cargas más grandes de consumo son 2 bombas de re-inyección de agua de producción de 1.3 MW cada una, una bomba de exportación de crudo hacia el oleoducto de 1 MW, y los variadores de velocidad de 42 pozos productores de petróleo.

Actualmente el bloque 21 produce 7.000.00 barriles de petróleo y 52.000.00 barriles de agua. El sistema de automatización y control de la planta está construido con PLC Allen Bradley ControlLogix 5000.

TO PAGE 2

**COMMON**

CFA901

SWITCH

Ethernet Twisted Pair

A11

PS 0 1 2 3 4 5 6

CPU EM EM DO DI SM DI DO

TO PCS PLC #11

MV-SWG

TO MOTOR #11

STARTERS

**GENSET 1**

A1 CFC011

PS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

CPU EM EM DO DI DO

A11

CFC011

A2

285 285 285 285 285 285 285

270 260 260 260 260 260 260

A3

285 283 279 279 279 293

261 261 261 261 261 261

A11

MV-SWG

A4

PS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

DI DI DI DI DI DI DI

**GENSET 3**

A1 CFC031

PS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

CPU EM EM DO DI DO

A11

CFC031

A2

285 285 285 285 285 285 285

270 260 260 260 260 260 260

A3

285 283 279 279 279 293

261 261 261 261 261 261

A11

MV-SWG

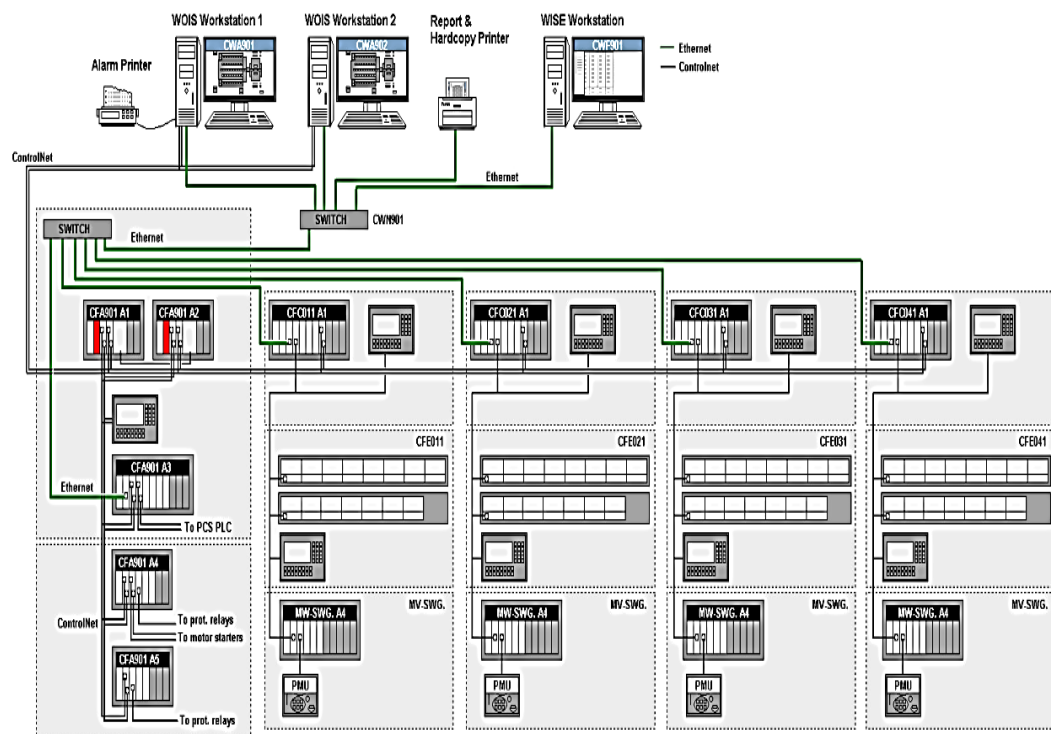
A4

PS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

DI DI DI DI DI DI DI

NOT IN SCOPE OF VEG SUPPLY!

**Fuente:** Planta de Generación Eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa, Bloque 21 (2015)



**Fuente:** Planta de Generación Eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa, Bloque 21 (2015)

En la Figura 3-4 se muestra la arquitectura del sistema ControlLogix 5000 de la planta de generación, el PLC principal es el Common y los PLC de los grupos electrógenos están denominados como Genset 1, Genset 2, Genset 3 y Genset 4, todos los PLC están comunicándose entre ellos por medio de redes industriales Controlnet y Ethernet.

#### **4.1.2    *Common – PLC Principal***

- El Common es el PLC principal de la arquitectura, los chasis (en inglés rack) A1 y A2 son redundantes, siendo A1 el chasis primario y A2 el secundario. El PLC principal está ubicado en el tablero CFA901 controla los equipos comunes de toda la planta de generación (equipos auxiliares) y monitorea los parámetros de protección del MV\_Switchgear (Switchgear de Medio Voltaje).
- El sistema PLC common controla todas las operaciones y recopila todas las E/S (entradas y salidas, traducido del idioma inglés Input/Output I/Os) que son comunes para la planta de generación.
- Los chasis A1 y A2 son idénticos para que funcione la redundancia, los dos contienen: fuentes de alimentación, 2 CPUs, tarjetas controlnet, y los módulos redundantes SRM. El chasis A3 incluye: fuente de alimentación, tarjeta de comunicación controlnet, tarjeta de comunicación ethernet y varias tarjetas diferentes de E/S. El PLC common también tiene dos chasis remotos (A4 y A5) los cuales están instalados en el panel MV\_Switchgear y se utiliza para monitorear los parámetros de protecciones de los interruptores de 13.8 kV (en inglés MV\_Switches) por medio de los Multinin.

#### **4.1.3    *PLC Genset – PLC del grupo Electrógeno***

- El propósito del sistema de PLC Genset es controlar el grupo electrógeno Wartsila y todos los sistemas auxiliares necesarios para su funcionamiento.
- El PLC recopila todos los datos disponibles de los grupos electrógenos y los transfiere al HMI WOIS (Human-Machine-Interface) para propósitos de monitoreo de las variables de operación.
- El sistema de PLC Genset controla todas las operaciones y recopila todas las E/S de una máquina. La operación típica del PLC Genset, es arrancar y parar el motor, control de la

potencia activa y reactiva, paro de emergencia (en inglés shutdown) y disparos de los interruptores de 13.8 kV.

- El Genset consta de un chasis 1756 PLC en el panel de control CFC0\_1 (A1) y dos chasis remotos FLEX I/O PLC en el panel de control CFE0\_1 (A2, A3) y un chasis I/O PLC en el panel MV\_Switchgear (A4). Un Panelview 1000 Controlnet está ubicado en la puerta del panel CFC0\_1 y uno en la puerta del panel CFE0\_1. El VAMP 260 Unidad de monitoreo de potencia (Power Monitoring Unit PMU) se comunica con el módulo MVI 56 - MCM Modbus Maestro/Esclavo ubicado en el chasis 1756 I/O PLC slot 1 del panel MV-Switchgear.
- La configuración de hardware y software es el mismo para cada uno de los PLC Genset.



**Figura 4-4** Switchgear de 13.8 kV

**Fuente:** Planta de Generación Eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa, Bloque 21 (2015)



**Figura 5-4** Tableros de control del sistema de PLC en cuarto de operaciones

**Fuente:** Planta de Generación Eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa, Bloque 21 (2015)

Por los 13 años de funcionamiento ininterrumpido del sistema de PLC es necesario conocer la confiabilidad y dependiendo del resultado tomar la decisión de seguir funcionando en las actuales condiciones o realizar la actualización a las nuevas versiones de software y hardware.

Los PLC ControlLogix son costosos, se estima que el costo de actualizar el sistema de control a las nuevas versiones es de \$500.000.00, el gasto es oneroso y esta es la razón principal para conocer la confiabilidad del sistema y evaluar si puede seguir funcionando en las actuales condiciones para no realizar un gasto innecesario.

## **4.2 Producto final del proyecto de investigación**

### **4.2.1 Procedimiento**

Antes de empezar a calcular la confiabilidad del sistema se realizan las siguientes consideraciones:

1. Los componentes que forman el sistema están en parte de la curva de la bañera denominada vida útil (Figura 21-2), aquí la tasa de falla  $\lambda$  (1/MTBF) es constante, por tanto la confiabilidad se calcula utilizando la ecuación  $R(t) = e^{-\lambda t}$
2. La media (cables de comunicación) de las redes de comunicaciones que unen los diferentes racks se asume que no fallan y de confiabilidad 1, la afirmación se considera cierta ya que por sí solos no fallan los cables.
3. Los datos de MTBF de los componentes del sistema no son tomados del campo porque los PLC son sistemas muy robustos que prácticamente no fallan y las pocas fallas que han existido no han sido documentadas adecuadamente, además la gran mayoría de componentes no han fallado en el tiempo de funcionamiento de la planta y por tanto no se tiene datos que ayuden al análisis de confiabilidad, por tanto, los datos de MTBF utilizados son los entregados por el fabricante (Ver Anexo A).
4. En el cálculo de confiabilidad no se considera el análisis del SCADA porque no es parte del proyecto.
5. Se toma la confiabilidad en un año de funcionamiento como el valor de partida para el análisis, se realiza esta consideración porque la confiabilidad se evalúa en un periodo de tiempo y es un periodo muy aceptado en la industria.



6. Se toma como periodo de estudio 13 años.
7. El sistema de control funciona las 24 horas del día y todos los días del año.

Los pasos a seguir para el análisis y cálculo de la confiabilidad es el siguiente:

1. Levantamiento en sitio de la arquitectura del tablero principal CFA901, para ordenar los ítems que intervienen en cada rack (también llamado backplate, chasis) se usa el siguiente formato:

**Tabla 1-4** Formato para cálculo de confiabilidad

Item	POS PLC	Descripción	Código	Revisión	Fabricante

**Realizado por:** Marco Cunachi

Los casilleros se interpretan de la siguiente manera:

En el casillero ITEM se enumera los componentes de cada rack:

En el casillero POS PLC se identifica la posición del ítem, por ejemplo, A1.0 indica que el elemento está ubicado en el rack A1 en la ranura 0 (en inglés slot 0).

En el casillero DESCRIPCION se da el nombre largo del ítem.

En el casillero CODIGO está el número de catálogo que identifica al componente, por ejemplo 1756-CNBR/D.

En el casillero REVISION se identifica el número de revisión por parte del fabricante, generalmente se utiliza para comprobar compatibilidades con el resto de componentes que forman el rack y los racks.

2. Levantamiento en sitio de la arquitectura del PLC Genset de cada generador.

Secuencialmente se realiza el levantamiento de la arquitectura del PLC Genset 1, PLC Genset 2, PLC Genset 3, PLC Genset 4. Para ordenar los datos se usa el formato antes descrito.

3. Cálculo de la confiabilidad del PLC principal CFC901, los pasos a seguir son los siguientes:

3.1 Elaborar el diagrama RBD del backplate A1

3.2 Elaboración de la hoja de cálculo siguiente:

**Tabla 2-4** Hoja de cálculo para calcular la confiabilidad

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A1

**Realizado por:** Marco Cunachi

A partir del MTBF en horas, que es dato del fabricante se calcula la tasa de fallas de cada componente, en el periodo de 8760 horas que es un año se calcula la confiabilidad de cada componente y luego utilizando la fórmula de confiabilidad para componentes en serie se obtiene el valor total del rack. Para el cálculo de la confiabilidad en 13 años de funcionamiento se utiliza 113880 horas.

3.3 El mismo procedimiento se realiza para los racks A2, A3, A4 y A5.

3.4 Se presenta el diagrama RBD simplificado de todo el PLC CFA 901 y se resuelve la redundancia hot standby de los racks A1 y A2.

3.5 Se presenta el nuevo diagrama simplificado del PLC CFA 901 y se calcula la confiabilidad total.

4. Cálculo de la confiabilidad del PLC Genset 1, los pasos a seguir son los siguientes:

4.1 Elaboración del diagrama RBD del backplate A1.

4.2 Elaboración de la plantilla de la hoja de cálculo de confiabilidad.

4.3 Cálculo de la tasa de falla de cada componente del rack.

4.4 Cálculo de la confiabilidad individual de cada componente para un año.

4.5 Cálculo de la confiabilidad total del rack para un año.

4.6 Repetir el procedimiento para los racks A2, A3, A4 y A11.

4.7 Presentar el diagrama RBD equivalente.

4.8 Calcular la confiabilidad total del PLC Genset 1 utilizando las fórmulas para ítems en serie.

5. Cálculo de la confiabilidad de los PLC Genset 1, Genset 2, Genset 3, Genset 4, los pasos a seguir son los descritos en el ítem 4.
6. Cálculo de confiabilidad de los 4 PLC de los generadores en configuración 2-out-of-4.
7. Cálculo de la confiabilidad total de los PLC de la planta de generación
  - 7.1 Elaboración del diagrama RBD equivalente formado por el equivalente del CFA901 y el resultado de la arquitectura 2-out-of-4 de los PLC de los generadores
  - 7.2 Cálculo de la confiabilidad total utilizando las fórmulas para ítems en serie.

#### **4.2.2 *Evaluación Preliminar***

##### **4.2.2.1 *Evaluación de la Confiabilidad del Sistema en 1 Año de Funcionamiento***

En la actualidad, las aplicaciones de procesos tienen sistemas automatizados de alta disponibilidad y confiabilidad.

Utilizando diagramas de bloques de confiabilidad RBD (Reliability Block Diagrams) se evalúa el estado inicial y actual de la arquitectura del sistema de PLC de la planta de generación. La arquitectura de PLC está compuesta por sus componentes y la unión de componentes forman un subsistema, y la unión de subsistemas forman un sistema.

Se parte del cálculo de confiabilidad de cada uno de los componentes y por medio de ecuaciones se calcula la confiabilidad de los subsistemas para obtener como resultado final la confiabilidad de todo el sistema.

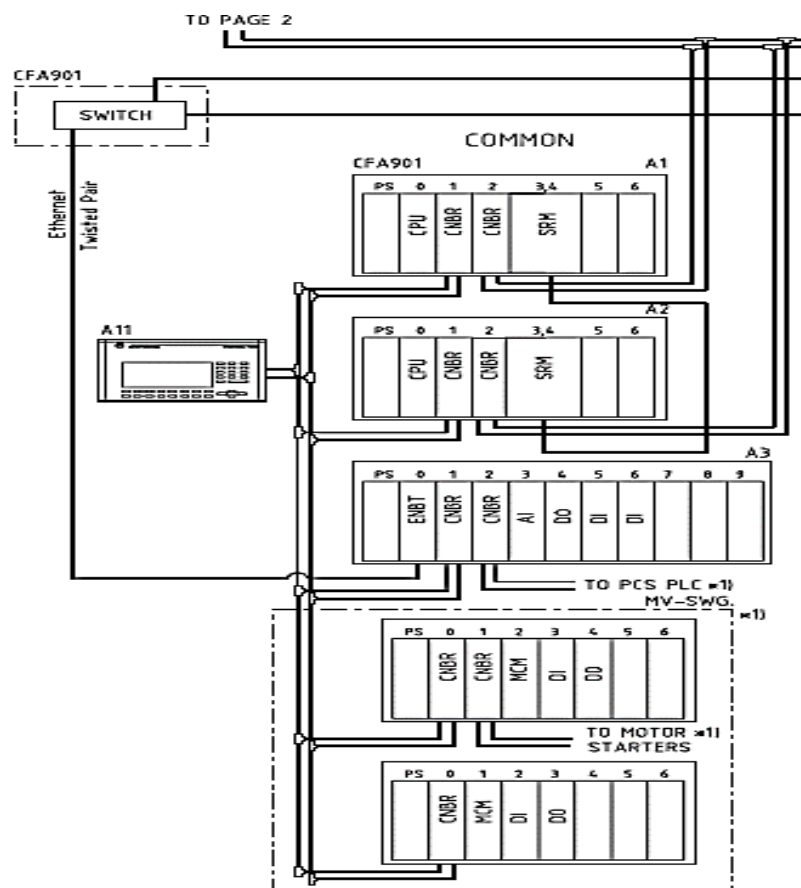
Para construir los diagramas RBD de un sistema, los componentes que son importantes para el éxito de su función se colocan en serie y los componentes que al fallar no afectan el éxito de la función se colocan en paralelo.

En definitiva, los diagramas RBD son una herramienta para representar a un sistema y sus componentes con la finalidad de calcular la confiabilidad total.

### RBD DEL PLC PRINCIPAL CFA901

El PLC principal está compuesto de 5 racks, A1, A2, A3, A4, A5 y un interfaz de operador (operator interface, panelview 1000, HMI) A11. Los racks A1 y A2 son redundantes, los racks A3, A4, A5 son importantes para la operación y en caso de que falle alguno todo el sistema falla.

El interfaz de operador A11 muestra variables comunes de la planta, pero en la práctica los responsables de operar la planta de generación no lo usan porque tienen las mismas variables mostrándose en el sistema scada, por tanto, no es necesario incluirlo en el diagrama RBD ya que en caso de fallar no afecta al éxito de la función requerida por el sistema.



**Figura 6-4** Arquitectura del PLC principal

**Fuente:** Technical information 7B 02 OEM MANUALS Electrical and control systems-Control system drawings, Wartsila (Agosto 2003)

Los componentes de cada rack se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 3-4 CFA 901 RACK A1**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A1	Backplane 7 position	1756-A7		Allen Bradley
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A1	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.90	Allen Bradley
4	A1.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
5	A1.2	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
6	A1.3-A1.4	Redundant card	1757-SRM/B	D	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 4-4 CFA 901 RACK A2**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A2	Backplane 7 position	1756-A7		Allen Bradley
2	A2	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A2	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.90	Allen Bradley
4	A2.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
5	A2.2	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
6	A2.3-A2.4	Redundant card	1757-SRM/B	D	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 5-4 CFA 901 RACK A3**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A3	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A3	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley
3	A3.0	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley
4	A3.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
5	A3.2	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
6	A3.3	Analog input-16 channel-Bipoar	1756-IF16	1.1	Allen Bradley
7	A3.4	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
8	A3.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
9	A3.6	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
10		Redundant fibre cable	1756-SRC1		Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 6-4 CFA 901 RACK A4 MV-SWG**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A4	Backplane 10 position	1756-A7		Allen Bradley
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley
3	A4.0	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
4	A4.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
5	A4.2	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft
6	A4.3	Digital 16 input-10V-30V Isolated	1756-IB16I	1.1	Allen Bradley
7	A4.4	Digital 16 output-Isolated Relay	1756-OW16I	1.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 7-4 CFA 901 RACK A5 MV-SWG**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A5	Backplane 10 position	1756-A7		Allen Bradley
2	A5	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley
3	A5.0	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley
5	A5.2	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft
6	A5.3	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	1756-IB16I	1.1	Allen Bradley
7	A5.4	Digital 16 output-Isolated Relay	1756-OW16I	1.1	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

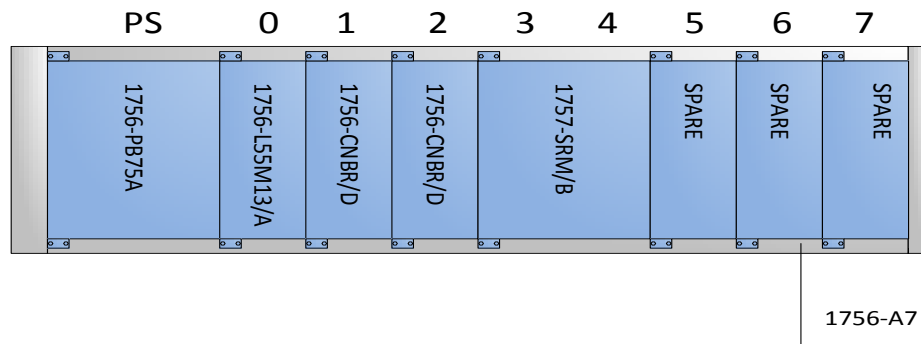
**Tabla 8-4 OPERATOR INTERFACE A11**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

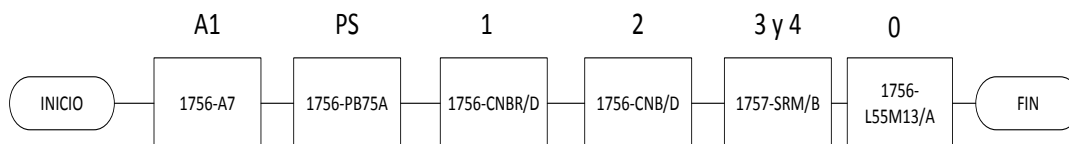
### RBD DEL CFA 901 RACK A1

Todos los componentes que forman el rack A1 son importantes para realizar la función asignada, por tanto, si un solo elemento falla, el rack entero es afectado ya que no es capaz de realizar su misión asignada al 100%. En el siguiente grafico se representa el rack A1 y la disposición de sus elementos.

**Figura 7-4 Rack A1**

Realizado por: Marco Cunachi

En el caso de fallar un elemento, todo el rack falla, por tanto, en la representación de diagrama RBD todos los componentes están en serie, en el siguiente grafico se detalla lo explicado:



**Figura 8-4** Diagrama RBD Rack A1

Realizado por: Marco Cunachi

Aplicando las fórmulas para componentes en serie, se calcula la confiabilidad total del rack en 1 año de funcionamiento.

En la siguiente tabla se presentan los resultados:

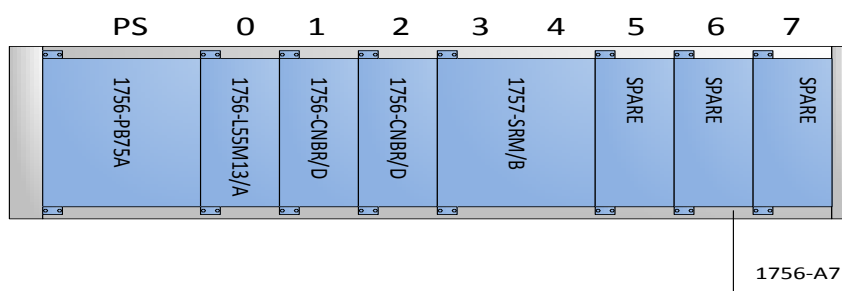
**Tabla 9-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A1 en 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A1
A1		1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.999637998	0.989101659
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A1.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	2971020	3.36585E-07	0.99705586	
	A1.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A1.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A1.3-A1.4	1757-SRM/B	Redundant card	1456000	6.86813E-07	0.994001579	

Realizado por: Marco Cunachi

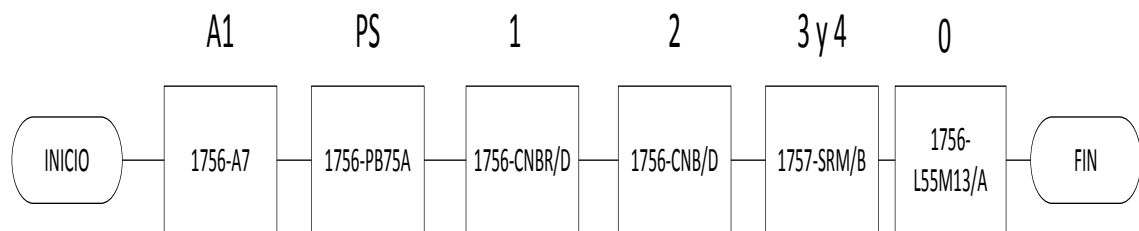
### RBD DEL CFA 901 RACK A2

La disposición de elementos en el rack A2 es exactamente igual al rack A1, por tanto, los resultados son los mismos.



**Figura 9-4** Backplane A2

Realizado por: Marco Cunachi



**Figura 10-4** Diagrama RBD Rack A2

Realizado por: Marco Cunachi

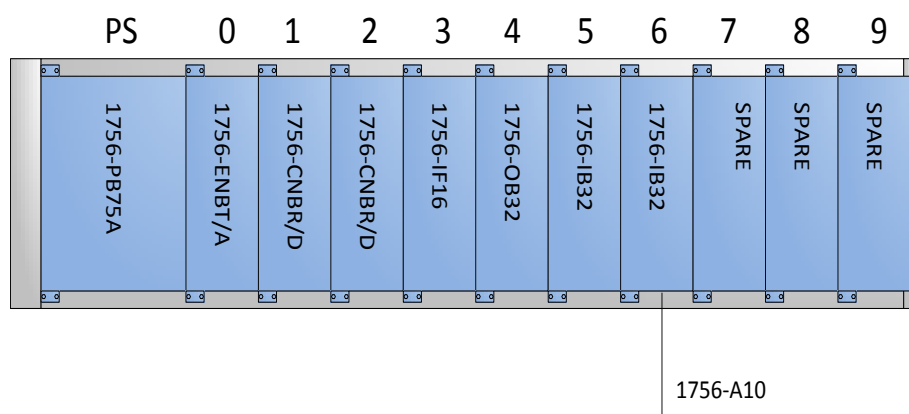
**Tabla 10-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A2 en 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A2
A2		1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.999637998	0.989101659
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A2.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	2971020	3.36585E-07	0.99705586	
	A2.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A2.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A2.3-A2.4	1757-SRM/B	Redundant card	1456000	6.86813E-07	0.994001579	

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL CFA 901 RACK A3

La disposición de los elementos en el rack A3 se presenta en el siguiente gráfico:



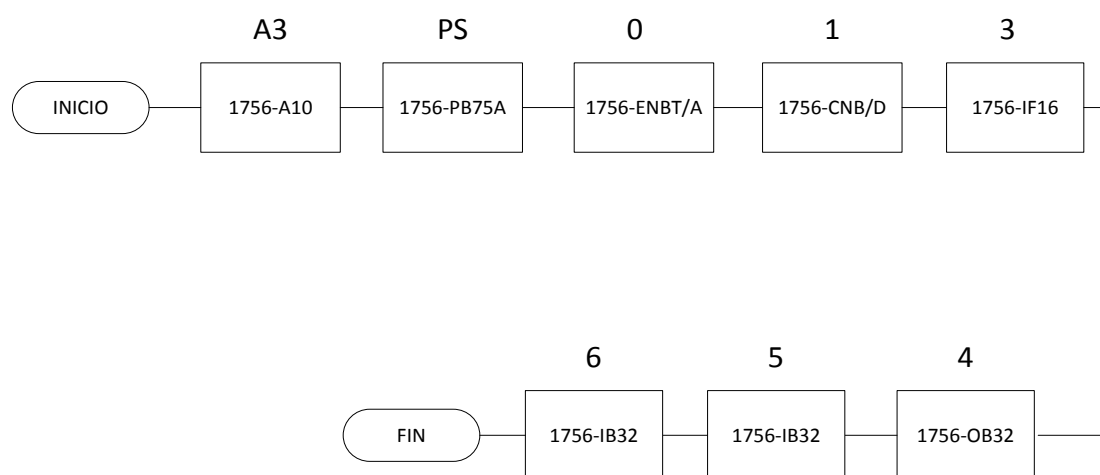
**Figura 11-4** Rack A3

Realizado por: Marco Cunachi



Al realizar el levantamiento de información se halla que la tarjeta 1756-CNBR/D ubicada en la posición 2 (en inglés slot 2) no es usada para el control de la planta de generación, por tanto, la falla de la tarjeta no afecta al éxito de las funciones encomendadas al resto de componentes; por consiguiente, no se la toma en cuenta para realizar los diagramas RBD y tampoco para el cálculo de confiabilidad del rack A3.

Excluyendo la tarjeta 1756-CNBR/D ubicada en la posición 2, el resto de componentes que forman el rack A3 son importantes; por tanto, en la representación RBD los componentes están en serie como se indica en el siguiente gráfico:



**Figura 12-4 Representación RBD Rack A3**

**Realizado por:** Marco Cunachi

El cálculo de la confiabilidad total del rack en un 1 año se detalla en la siguiente tabla:

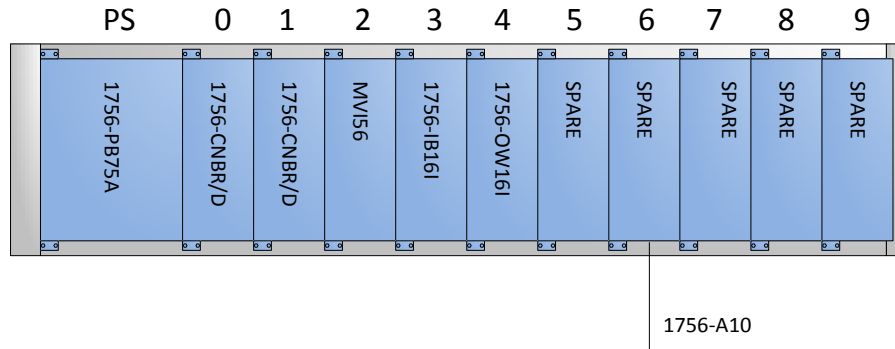
**Tabla 11-4** Cálculo de la confiabilidad total del rack A3 en un 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A3
A3		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.999450017	0.988218191
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A3.0	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.996658452	
	A3.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A3.3	1756-IF16	Analog input-16 channel-Bipoar	4888284	2.04571E-07	0.998209565	
	A3.4	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.996762256	
	A3.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.99906273	
	A3.6	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.99906273	

**Realizado por:** Marco Cunachi

### RBD DEL CFA 901 RACK A4

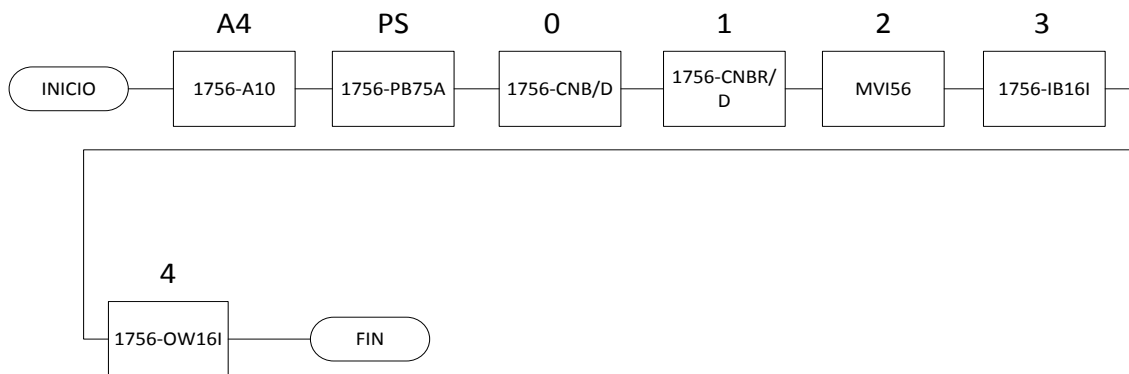
La disposición de los elementos en el rack A4 se presenta en el siguiente gráfico:



**Figura 13-4** Rack A4

Realizado por: Marco Cunachi

Todos los componentes son importantes para realizar la función asignada; por tanto, los elementos en el diagrama RBD están en serie. En el siguiente grafico se representa el diagrama RBD del rack A4.



**Figura 14-4** Diagrama RBD Rack A4

Realizado por: Marco Cunachi

El RBD abre el camino para visualizar la disposición de elementos y las reglas para hallar la confiabilidad. El cálculo de la confiabilidad total del rack en un 1 año se detalla en la siguiente tabla:

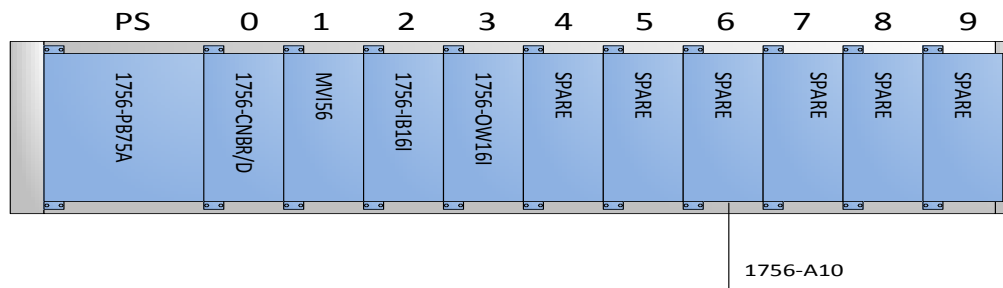
**Tabla 12-4** Cálculo de la confiabilidad total del rack A4 en un 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A4
A4		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.999450017	0.992545922
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A4.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A4.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A4.2	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.995363051	
	A4.3	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.999893438	
	A4.4	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.999453715	

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL CFA 901 RACK A5

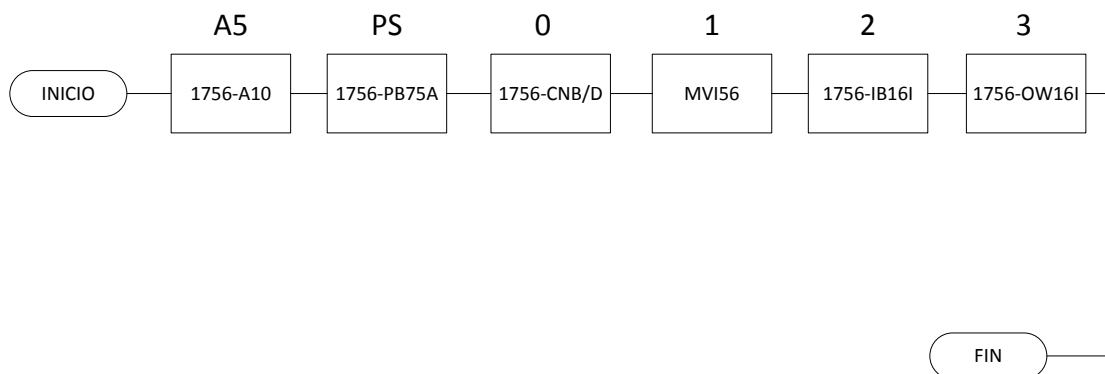
La disposición de los elementos en el rack A5 se presenta en el siguiente gráfico:



**Figura 15-4** Rack A5

Realizado por: Marco Cunachi

Todos los componentes del rack A5 son importantes para realizar con éxito su función, por tanto, el diagrama RBD se representa con todos sus elementos en serie.



**Figura 16-4** Diagrama RBD Rack A5

Realizado por: Marco Cunachi

El cálculo de la confiabilidad total del rack A5 se presenta en la siguiente tabla:

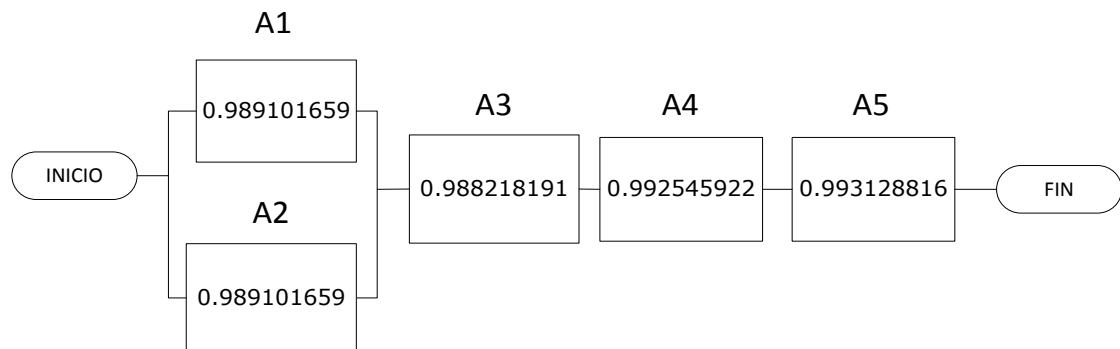
**Tabla 13-4** Cálculo de la confiabilidad total del rack A5 en un 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A5
A5		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.999450017	0.993128816
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A5.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	
	A5.1	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.995363051	
	A5.2	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.999893438	
	A5.3	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.999453715	

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD EQUIVALENTE DEL PLC PRINCIPAL CFA901

Una vez calculado las confiabilidades de los rack individualmente el diagrama RBD equivalente se representa en la siguiente figura:



**Figura 17-4** Diagrama RBD equivalente

Realizado por: Marco Cunachi

En el RBD los racks A1 y A2 están en redundancia hot standby ya que los controladores están sincronizados y por tanto el switchover es sin impacto. Utilizando la Ecuación 10-2 para redundancia hot standby de 2 ítems en paralelo y las tasas de fallas de actividad e inactividad son las mismas se calcula la confiabilidad, el resultado se detalla a continuación:

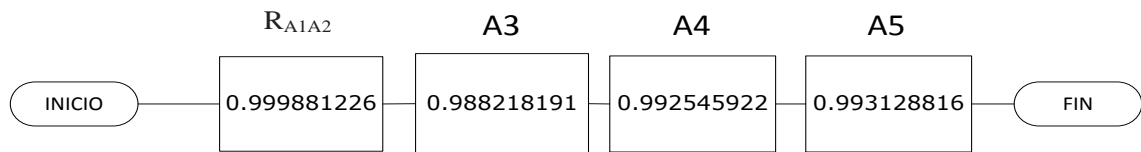
$$R_{sp}(t) = R1(t) + R2(t) - R1(t)R2(t)$$

Si  $R1=R2=R$ , entonces:

$$R_{sp}(t) = 2R(t) - R^2(t)$$

Reemplazando  $R = 0.989101659$  se tiene que  $R_{sp} = R_{A1A2} = 0.999881226$

Aplicando el resultado, el diagrama RBD se reduce a lo siguiente:



**Figura 18-4** Diagrama RBD equivalente con cálculo de confiabilidad

**Realizado por:** Marco Cunachi

Utilizando la Ecuación 10-2 para confiabilidad en serie el resultado final es:

$$R_{ss} = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Entonces:

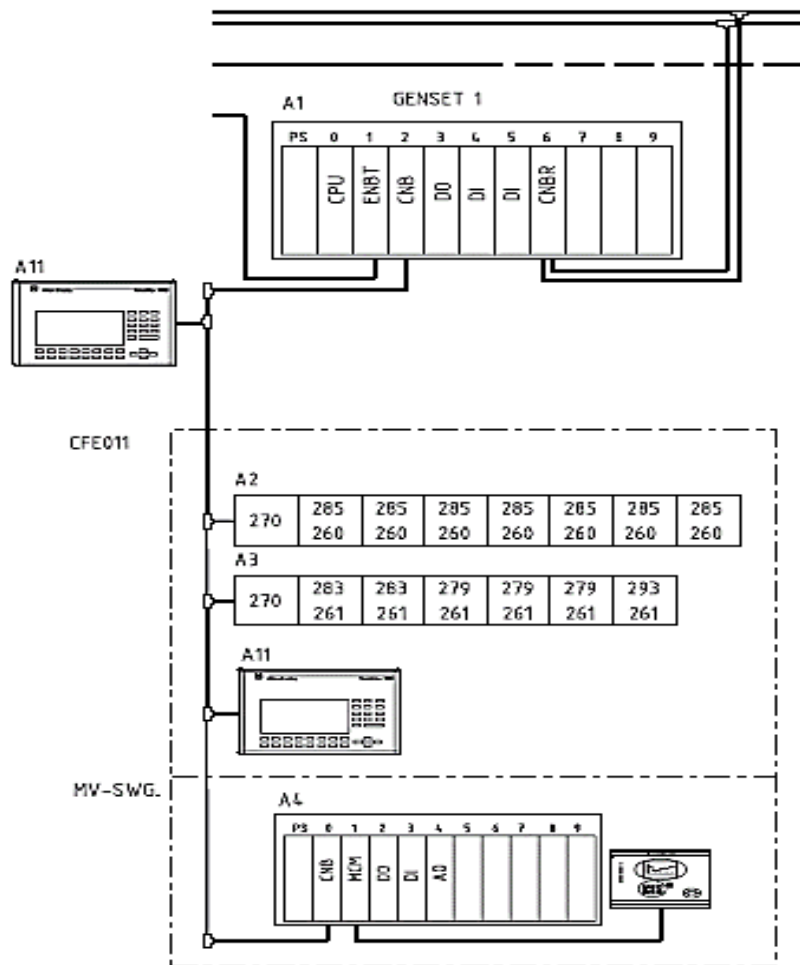
$$R_{ss} = R_{A1A2}(t) \cdot R_{A3}(t) \cdot R_{A4}(t) R_{A5}(t)$$

Reemplazando los valores de confiabilidad en la ecuación anterior se tiene que la confiabilidad total del PLC PRINCIPAL CFA901 en un año es: 0.973996623

### RBD DEL PLC GENSET 1

El PLC del genset 1 está compuesto del rack A1 y el interfaz de operador A11 (panel view 1000) que se encuentra en el tablero CFC011 de la sala de control, los racks remotos A2, A3 y el interfaz de operador A11 ubicados en el tablero CFE011 de la sala de máquinas, y el rack remoto A4 ubicado en el MV\_Switchgear de 13.8 KV. Los racks A1, A2, A3, A4 son importantes para la operación y en caso de que falle alguno todo el sistema falla, el interfaz de operador A11 ubicado en el CFC011 en sala de control no es importante para la operación de la planta de generación, el interfaz de operador ubicado en el CFE011 de sala de control muestra variables del Genset, pero en la práctica los responsables de operar la planta de generación no lo usan porque tienen las mismas variables mostrándose en el sistema Scada, por tanto no es necesario incluirlo en el diagrama RBD ya que en caso de fallar no afecta al éxito de la función requerida por el sistema.

La arquitectura del PLC se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 19-4** Arquitectura del PLC GenSet 1

**Fuente:** Technical information 7B 02 OEM MANUALS Electrical and control systems-Control system drawings, Wartsila (Agosto 2003)

Los componentes de cada rack se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 14-4** CFC 011 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 15-4 CFC 011 OPERATOR INTERFACE**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

**Tabla 16-4 CFE 011 FLEX I/O RACK A2**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A2	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3G		Allen Bradley
2	A2	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A2.0	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
4	A2.1	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
5	A2.2	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
6	A2.3	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
7	A2.4	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
8	A2.5	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
9	A2.6	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

**Tabla 17-4 CFE 011 FLEX I/O RACK A3**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A3	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3		Allen Bradley
2	A3	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A3.0	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
4	A3.1	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
5	A3.2	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
6	A3.3	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
7	A3.4	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
8	A3.5	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Channel	1794-OB16/A	1	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

**Tabla 18-4 CFE 011 OPERATOR INTERFACE**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

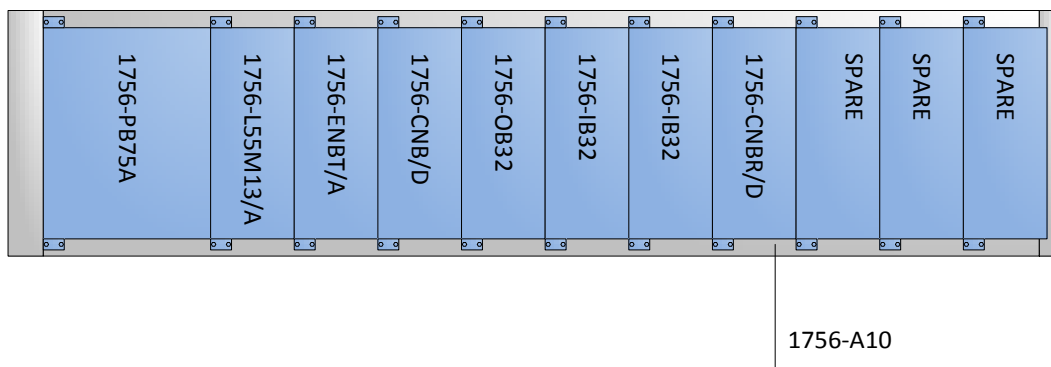
**Tabla 19-4 CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56	1.2	Prosoft
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL CFC 011 RACK A1

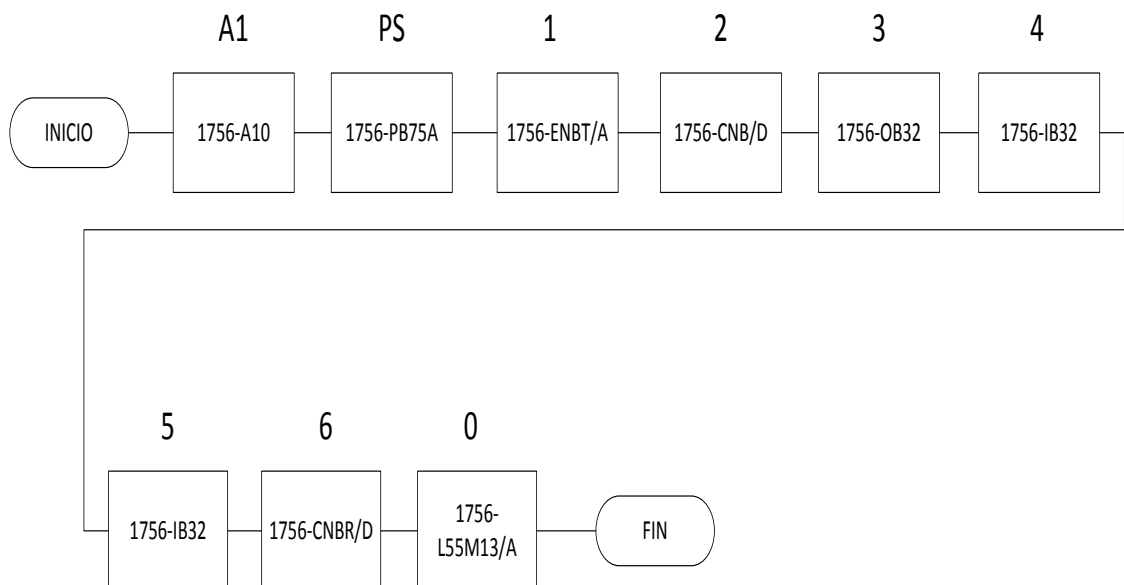
Al igual que en el RBD del CFA 901, en el RBD del CFC 011 todos los componentes que forman el rack A1 son importantes para realizar la función asignada, por tanto, si un solo elemento falla, el rack entero es afectado porque no es capaz de realizar la función asignada al 100%. En la siguiente figura se representa el rack A1 y la disposición de sus elementos.



**Figura 20-4** Rack A1 y la disposición de sus elementos

Realizado por: Marco Cunachi

Todos los componentes son importantes para realizar la función asignada, por tanto, en el diagrama RBD los componentes están en serie, en el siguiente grafico se detalla lo explicado:



**Figura 21-4** Diagrama RBD Rack 1

Realizado por: Marco Cunachi



Aplicando las fórmulas para componentes en serie se calcula la confiabilidad total del rack en 1 año de funcionamiento, en la siguiente tabla se presentan los resultados:

**Tabla 20-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A1 en un 1 año

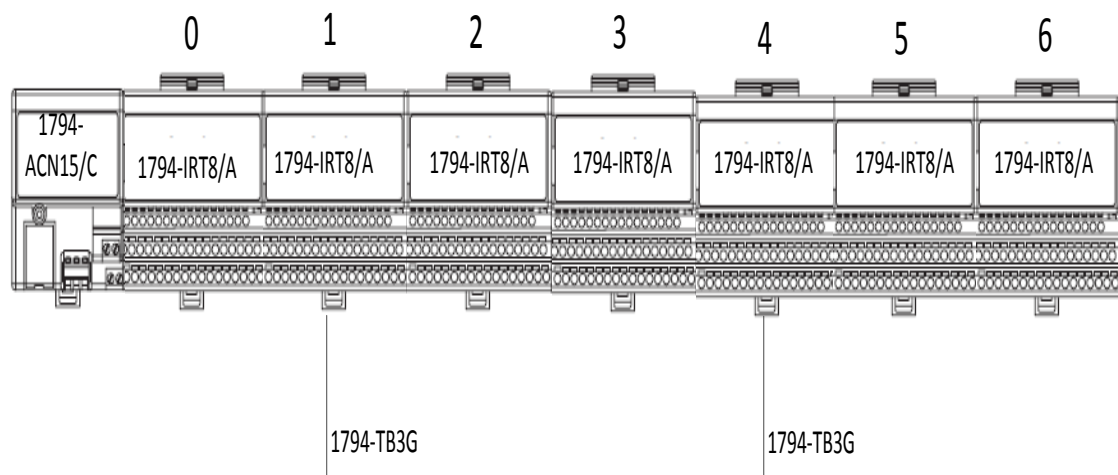
Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad total Rack A1
A1		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.999450017	0.985691933
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A1.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	2971020	3.36585E-07	0.99705586	
	A1.1	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.996658452	
	A1.2	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.998597776	
	A1.3	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.996762256	
	A1.4	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.99906273	
	A1.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.99906273	
	A1.6	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.999413073	

Realizado por: Marco Cunachi

#### RBD DEL CFE 011 FLEX I/O RACK A2

Los módulos E/S (entrada salida, I/O) en el rack A2 están montados sobre la base 1794-TB3G, no se utiliza el backplate 1756-Axx como en el caso de los anteriores PLC.

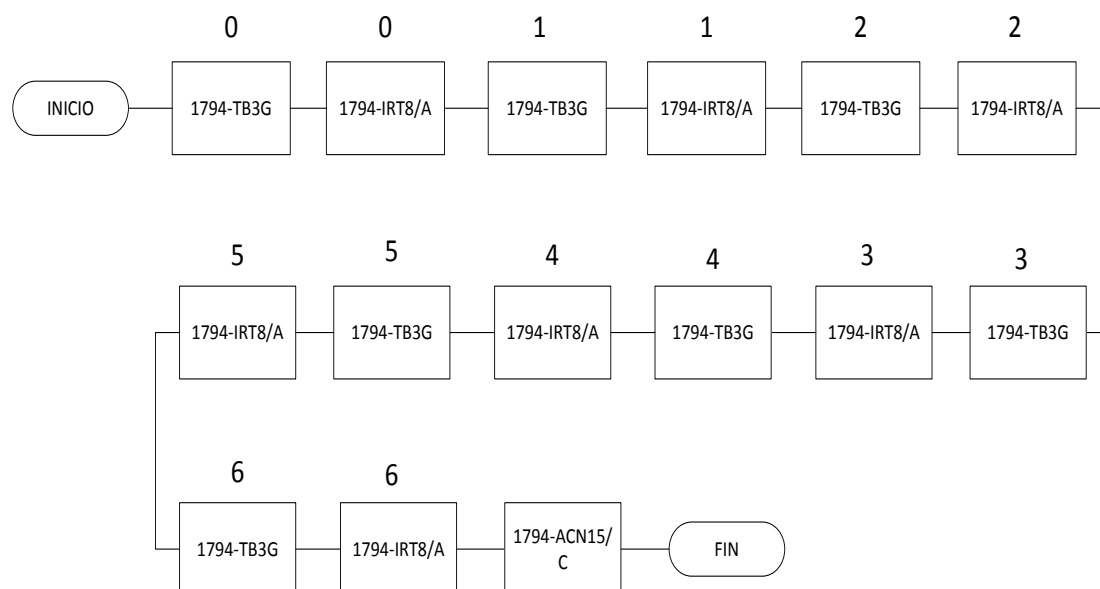
La disposición de los elementos se presenta en el siguiente gráfico:



**Figura 22-4** RBD del CFE 011 Flex I/O rack A2

Realizado por: Marco Cunachi

Todos los componentes son importantes para realizar la función asignada, por tanto, en el diagrama RBD los componentes están en serie. Cada módulo de E/S (I/O) tiene su base 1756-TB3G, en el diagrama RBD se presenta la base en serie con el modulo asociado, el adaptador 1794-ACNR15 no necesita base.



**Figura 23-4** Diagrama RBD Rack 2

Realizado por: Marco Cunachi

Aplicando las fórmulas para componentes en serie se calcula la confiabilidad total del rack en 1 año de funcionamiento; en la siguiente tabla se presentan los resultados:

**Tabla 21-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A2 en 1 año

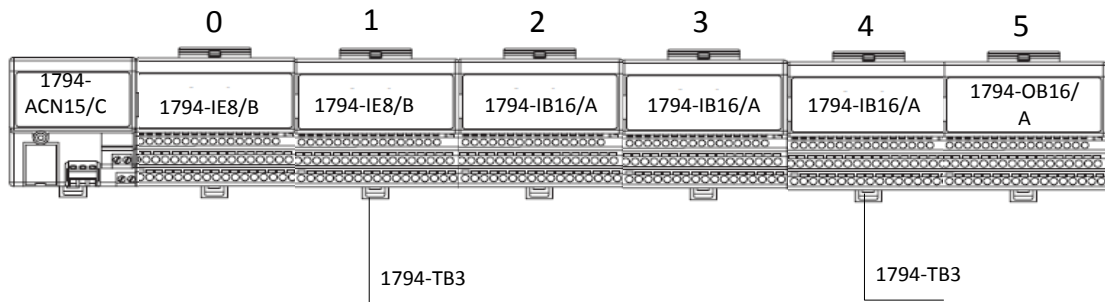
Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A2
A2		1794-ACNR15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.999309229	0.951340235
	A2.0	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.0	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.1	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.1	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.2	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.2	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.3	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.3	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.4	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.4	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.5	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.5	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	
	A2.6	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.999875841	
	A2.6	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439	

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL CFE 011 FLEX I/O RACK A3

Al igual que en el rack A2, los módulos E/S (entrada salida, I/O) en el rack A3 están montados sobre la base 1794-TB3G.

La disposición de los elementos se presenta en la siguiente figura:

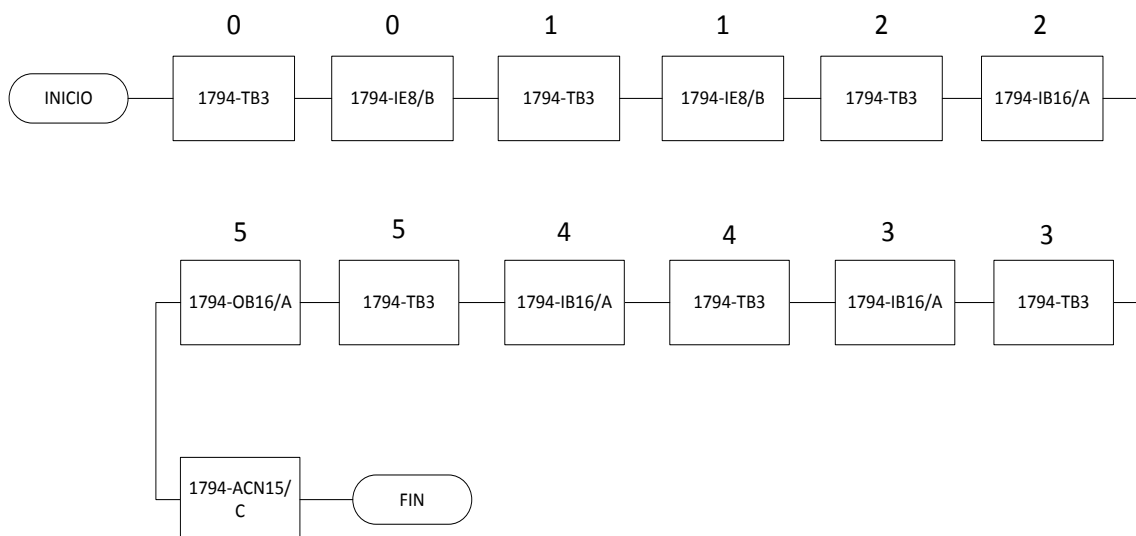


**Figura 24-4** RBD del CFE 011 Flex I/O rack A3

Realizado por: Marco Cunachi

Todos los componentes son importantes para realizar la función asignada, por tanto, en el diagrama RBD los componentes están en serie.

Al igual que en el rack A2, cada módulo de E/S tiene su base 1756-TB3G, en el diagrama RBD se presenta la base en serie con el modulo asociado, el adaptador 1794-ACNR15 no necesita base.



**Figura 25-4** Diagrama RBD Rack A3

Realizado por: Marco Cunachi

Aplicando las fórmulas para componentes en serie se calcula la confiabilidad total del rack en 1 año de funcionamiento. En la siguiente tabla se presentan los resultados:

**Tabla 22-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A3 en 1 año

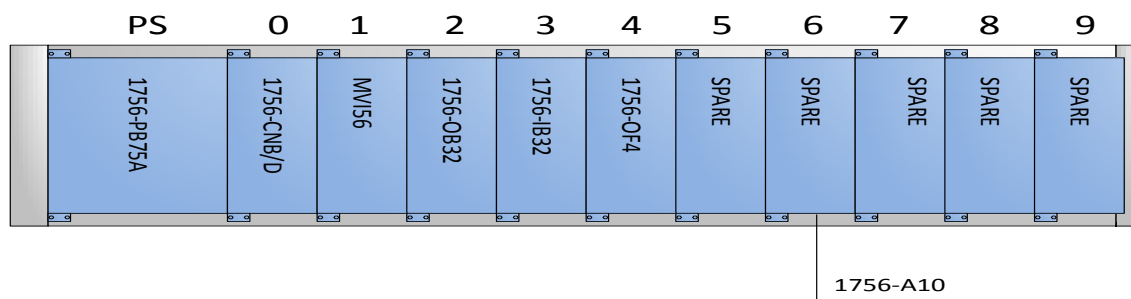
Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A3
A3		1794-ACN15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.999309229	0.997809001
	A3.0	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.0	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.999484806	
	A3.1	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.1	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.999484806	
	A3.2	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.2	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999938631	
	A3.3	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.3	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999938631	
	A3.4	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.4	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999938631	
	A3.5	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999978905	
	A3.5	1794-OB16/A	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Chann	54390856	1.83854E-08	0.999838956	

**Realizado por:** Marco Cunachi

#### RBD DEL CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

Todos los componentes que forman el rack A4 son importantes para realizar la función asignada, por tanto, si un solo elemento falla, el rack entero es afectado porque no es capaz de realizar la función asignada al 100%.

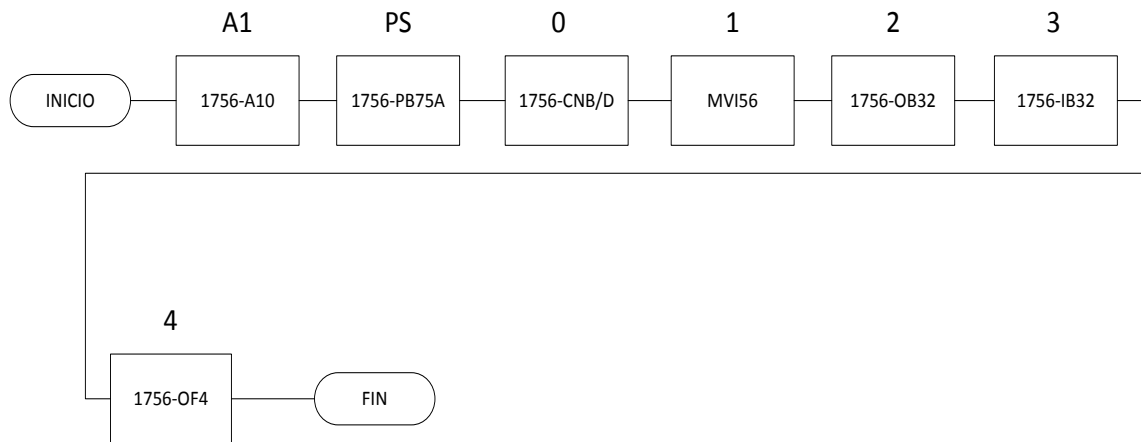
En el siguiente grafico se presenta la disposición de elementos del rack A4.



**Figura 26-4** Rack A4 y la disposición de sus elementos

**Realizado por:** Marco Cunachi

Todos los componentes son importantes para realizar la función asignada, por tanto, en el diagrama RBD los componentes están en serie.



**Figura 27-4** Diagrama RBD Rack A4

Realizado por: Marco Cunachi

Aplicando las fórmulas para componentes en serie se calcula la confiabilidad total del rack en 1 año de funcionamiento.

En la siguiente tabla se presentan los resultados:

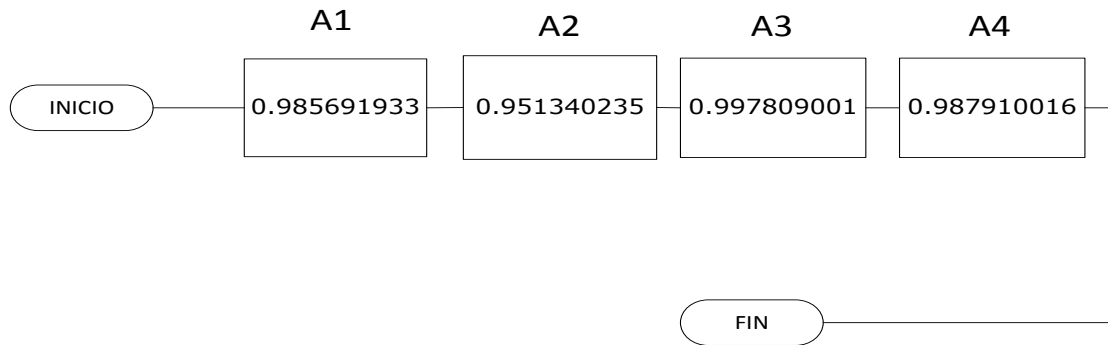
**Tabla 23-4** Resultados de la confiabilidad total del rack A4 en 1 año

Backplate	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 1 año	Confiabilidad en 1 año backplate A4
A4		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.999450017	0.987910016
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.999543173	
	A4.0	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.998597776	
	A4.1	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.995363051	
	A4.2	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.996762256	
	A4.3	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.99906273	
	A4.4	1756-OF4	Analog output-4 channel non Isolated	9470788	1.05588E-07	0.999075478	

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD EQUIVALENTE DEL PLC GENSET 1

El diagrama RBD equivalente se reduce a un sistema en serie, en donde todos son importantes para tener éxito en la función requerida.



**Figura 28-4** Diagrama equivalente del PLC GENSET 1

Realizado por: Marco Cunachi

Utilizando la Ecuación 10-2 para confiabilidad en serie el resultado final es:

$$R_{ss} = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Entonces:

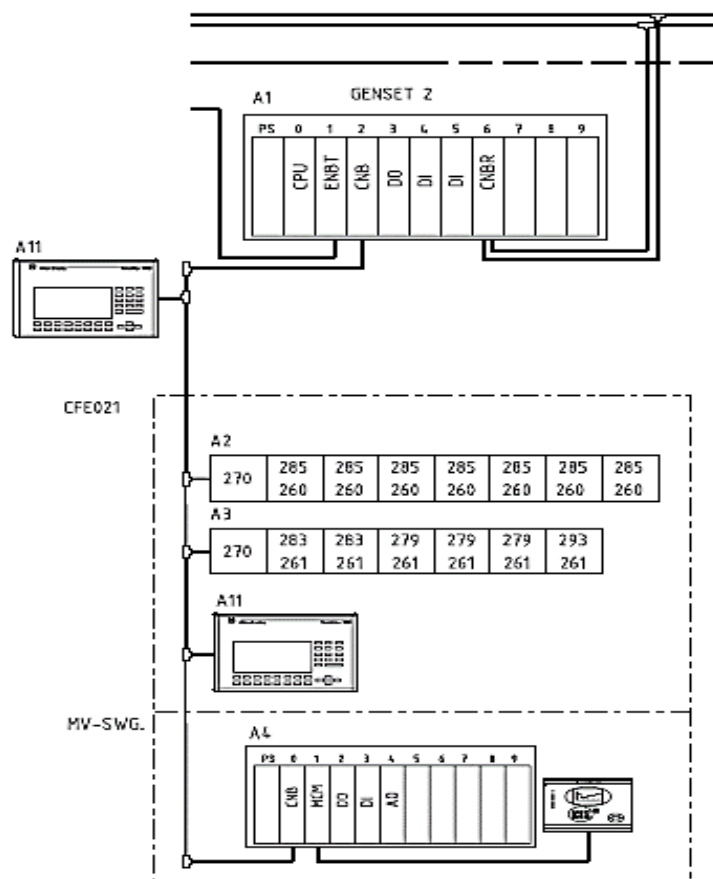
$$R_{ss} = R_{A1}(t) \cdot R_{A2}(t) \cdot R_{A3}(t) R_{A4}(t)$$

Reemplazando los valores de confiabilidad en la ecuación anterior se tiene que la confiabilidad total del PLC GENSET 1 en un año es: 0.924361551.

### RBD DEL PLC GENSET 2

El PLC del genset 2 está compuesto del rack A1 y el interfaz de operador A11 (panelview 1000) que se encuentra en el tablero CFC021 de la sala de control, los racks remotos A2, A3 y el interfaz de operador A11 ubicados en el tablero CFE021 de la sala de máquinas, y el rack remoto A4 ubicado en el MV\_Switchgear de 13.8 KV.

La arquitectura del PLC se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 29-4** Arquitectura del PLC del Genset 2

**Fuente:** Technical information 7B 02 OEM MANUALS Electrical and control systems-Control system drawings, Wartsila (Agosto 2003)

Los componentes de cada rack se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 24-4** CFC 021 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 25-4** CFC 021 OPERATOR INTERFACE A11

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 26-4 CFE 021 FLEX I/O RACK A2**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A2	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3G		Allen Bradley
2	A2	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A2.0	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
4	A2.1	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
5	A2.2	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
6	A2.3	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
7	A2.4	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
8	A2.5	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
9	A2.6	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 27-4 CFE 021 FLEX I/O RACK A3**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A3	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3		Allen Bradley
2	A3	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A3.0	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
4	A3.1	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
5	A3.2	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
6	A3.3	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
7	A3.4	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
8	A3.5	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Channel	1794-OB16/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 28-4 CFE 021 OPERATOR INTERFACE A11**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 29-4 CFC 021 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56	1.2	Prosoft
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley

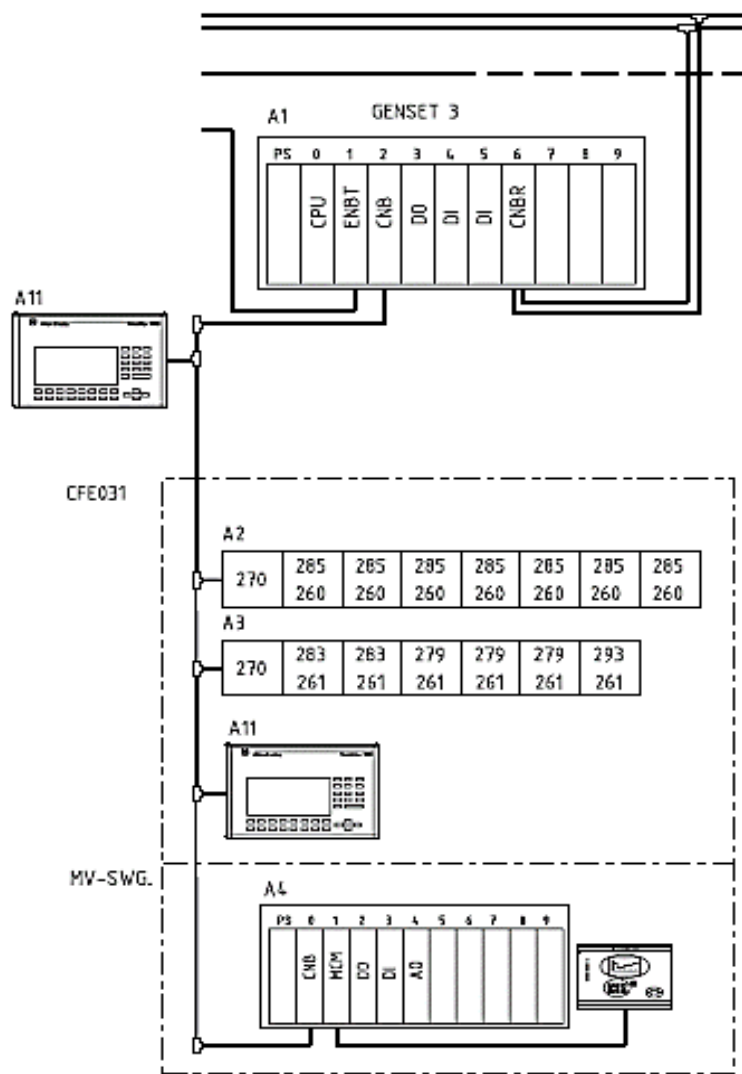
**Realizado por:** Marco Cunachi



La arquitectura y los elementos del PLC del Genset 2 son los mismos que en el PLC del Genset 1, por tanto, los diagramas RBD y el valor de confiabilidad calculado es el mismo. Por consiguiente, la confiabilidad total del PLC GENSET 2 en un año es: 0.924361551.

RBD DEL PLC GENSET 3

La arquitectura del PLC Genset 3 es igual a las arquitecturas de los PLC de los Genset 1 y 2. La arquitectura del PLC se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 30-4** Arquitectura del PLC del genset 3

**Fuente:** Technical information 7B 02 OEM MANUALS Electrical and control systems-Control system drawings, Wartsila (Agosto 2003)

Los componentes de cada rack se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 30-4 CFC 031 RACK A1**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 31-4 CFC 031 OPERATOR INTERFACE A11**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 32-4 CFE 031 FLEX I/O RACK A2**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A2	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3G		Allen Bradley
2	A2	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A2.0	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
4	A2.1	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
5	A2.2	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
6	A2.3	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
7	A2.4	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
8	A2.5	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
9	A2.6	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 33-4 CFE 031 FLEX I/O RACK A3**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A3	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3		Allen Bradley
2	A3	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A3.0	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
4	A3.1	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
5	A3.2	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
6	A3.3	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
7	A3.4	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
8	A3.5	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Channel	1794-OB16/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 34-4** CFC 031 OPERATOR INTERFACE A11

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

**Tabla 35-4** CFC 031 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56	1.2	Prosoft
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley

Realizado por: Marco Cunachi

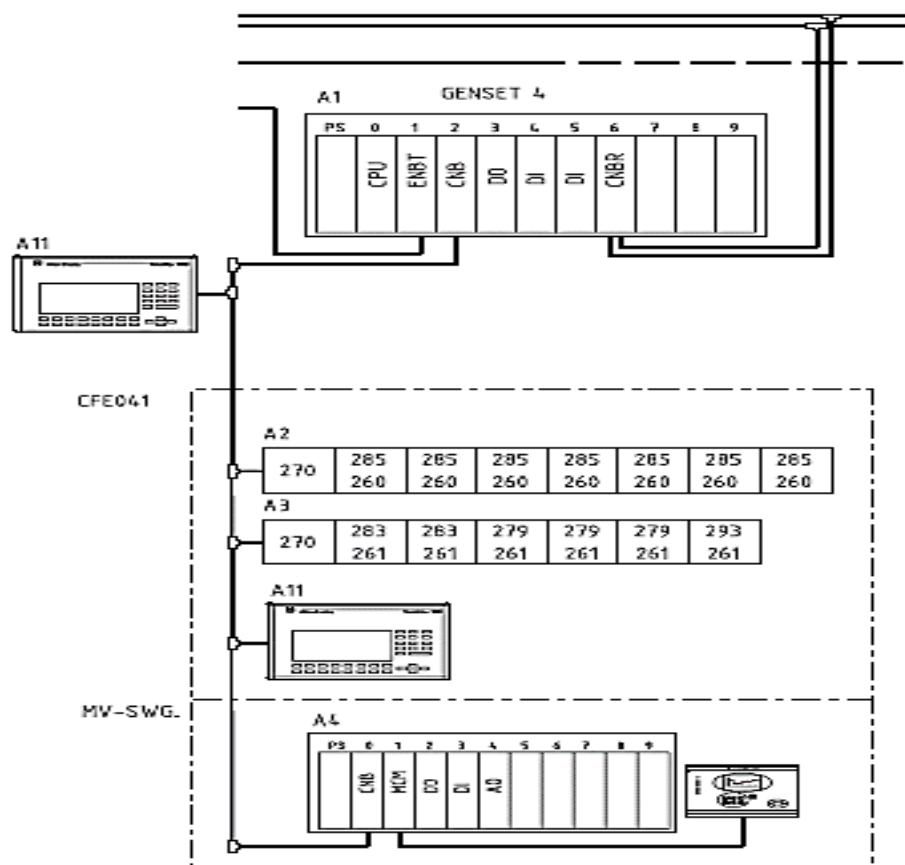
La arquitectura y los elementos del PLC del Genset 3 son los mismos que en el PLC del Genset 1 y 2, por tanto, los diagramas RBD y el valor de confiabilidad calculado es el mismo.

La confiabilidad total del PLC GENSET 3 en un año es: 0.924361551.

#### *RBD DEL PLC GENSET 4*

La arquitectura del PLC Genset 4 es igual a las arquitecturas de los PLC de los Genset 1, 2 y 3.

La arquitectura del PLC se muestra en el siguiente gráfico:



**Figura 31-4** Arquitectura del PLC del Genset 4

**Fuente:** Technical information 7B 02 OEM MANUALS Electrical and control systems-Control system drawings, Wartsila (Agosto 2003)

Los componentes de cada rack se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 36-4** CFC 041 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 37-4** CFC 041 OPERATOR INTERFACE A11

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 38-4 CFE 041 FLEX I/O RACK A2**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A2	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3G		Allen Bradley
2	A2	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A2.0	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
4	A2.1	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
5	A2.2	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
6	A2.3	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
7	A2.4	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
8	A2.5	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley
9	A2.6	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1794-IRT8/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 39-4 CFE 041 FLEX I/O RACK A3**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A3	Flex I/O Terminal Base	1794-TB3		Allen Bradley
2	A3	Flex I/O Control Net Adapter	1794-ACN15/C	3.1	Allen Bradley
3	A3.0	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
4	A3.1	Flex I/O Analog Input 8 Channel	1794-IE8/B	2	Allen Bradley
5	A3.2	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
6	A3.3	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
7	A3.4	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	1794-IB16/A	1	Allen Bradley
8	A3.5	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Channel	1794-OB16/A	1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 40-4 CFC 041 OPERATOR INTERFACE A11**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 41-4 CFC 041 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG**

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56	1.2	Prosoft
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley

**Realizado por:** Marco Cunachi

La arquitectura de los PLC del Genset 1, 2, 3, 4 son los mismos, por tanto, los diagramas RBD y el valor de confiabilidad calculado es el mismo. Entonces la confiabilidad total del PLC GENSET 4 en un año es: 0.924361551.

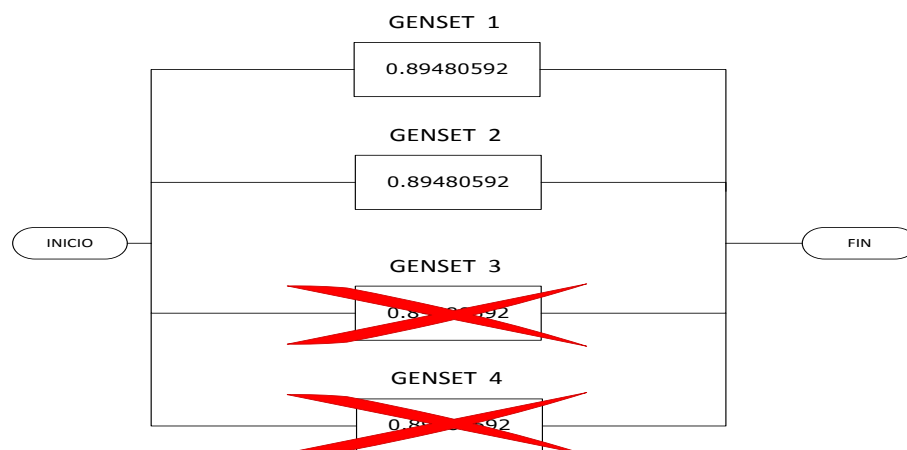
#### RBD EQUIVALENTE DE LOS PLC GENSET DE LOS 4 GENERADORES

La carga instalada de la planta de generación es de 16 MW, actualmente se generan 7 MW utilizando 2 generadores. Para mantener funcionando las facilidades de extracción de crudo únicamente se necesitan 2 generadores de los 4 que se tienen instalados.

Generalmente los PLC Genset 1, Genset 2, Genset 3, Genset 4 están encendidos y funcionando adecuadamente las 24 horas del día, todos los días del año y todos los años desde que fueron instalados. Partiendo de esta realidad y para que el sistema tenga éxito se requiere que 2 PLC Genset tengan éxito para conseguir que 2 generadores generen la carga requerida, en otras palabras se requieren al menos 2 PLC Genset funcionando adecuadamente y 2 en falla.

#### 2 PLC GENSET FUNCIONANDO ADECUADAMENTE Y DOS EN FALLA

En el caso de que dos PLC están encendidos y funcionando, y dos PLC se encuentra en falla, el diagrama de confiabilidad RBD está en configuración paralelo k-out-of-n, es decir 2 de 4, en otras palabras el sistema tiene éxito si funciona 2 de 4. El RBD equivalente es el siguiente:



**Figura 32-4** RBD Equivalente (PLC Genset funcionando adecuadamente y dos en falla)

Realizado por: Marco Cunachi

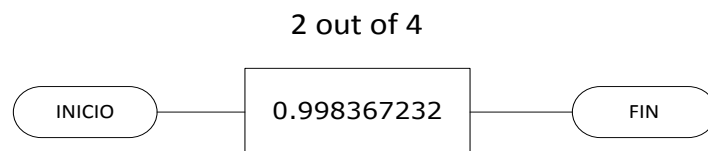
Utilizando la Ecuación 8-2 de confiabilidad para sistemas en paralelo k-out-of-n se tiene reemplazando los datos en la ecuación:

$$Rs(2,4,R) = \sum_{r=2}^4 \binom{4}{r} R^r (1-R)^{4-r}$$

$$Rs(2,4,R) = 6R^2 - 8R^3 + 3R^4$$

Reemplazando el valor de confiabilidad R de cada Genset se obtiene que el valor de confiabilidad del sistema 2 out of 4 es 0.998367232 que es superior a la confiabilidad individual del PLC Genset de los generadores.

El diagrama equivalente de confiabilidad de los PLC Genset de los generadores es el siguiente:



**Figura 33-4** Diagrama equivalente de confiabilidad de los PLC Genset de los generadores

**Realizado por:** Marco Cunachi

#### **RBD DEL SISTEMA TOTAL DE PLC DE LA PLANTA DE GENERACION**

El diagrama RBD equivalente del sistema de PLC de la planta de generación se ha reducido a un diagrama en serie como se muestra en el siguiente gráfico:

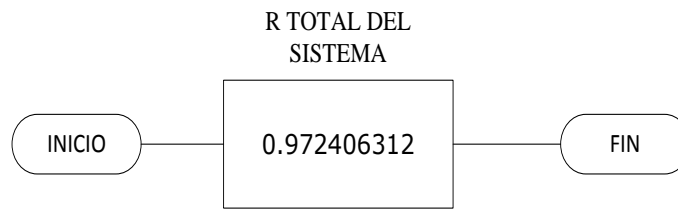


**Figura 34-4** Diagrama en serie del RBD equivalente del sistema PLC

**Realizado por:** Marco Cunachi

Utilizando las ecuaciones de confiabilidad para bloques en serie se tiene que la confiabilidad para un año del sistema de PLC de la planta de generación es 0.972406312.

El diagrama RBD final es el siguiente:



**Figura 35-4** Diagrama RBD final con confiabilidad para un año del sistema de PLC

**Realizado por:** Marco Cunachi

#### 4.2.2.2 Evaluación de la Confiabilidad del Sistema a los 13 Años de Funcionamiento

Aplicando los mismos principios que se utilizó para el cálculo de confiabilidad a 1 año de funcionamiento detallado anteriormente, se calcula la confiabilidad a 13 años de funcionamiento de todo el sistema de PLC de la planta de generación.

Las unidades del MTBF está dado en horas, por tanto los 13 años tiene  $(24 \times 365 \times 13)$  113 880 horas y este valor es utilizado en las ecuaciones para el cálculo de confiabilidad.

#### RBD DEL PLC PRINCIPAL CFA901

En las siguientes tablas se detallan los cálculos de confiabilidad.

**Tabla 42-4** CFA 901 RACK A1

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 13 años	Confiabilidad en 13 años backplate A1
A1		1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.995304178	0.867225608
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A1.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	2971020	3.36585E-07	0.962395038	
	A1.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A1.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A1.3-A1.4	1757-SRM/B	Redundant card	1456000	6.86813E-07	0.924766241	

**Realizado por:** Marco Cunachi



**Tabla 43-4 CFA 901 RACK A2**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 13 años	Confiabilidad en 13 años backplate A2
A2		1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.995304178	0.867225608
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A2.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	2971020	3.36585E-07	0.962395038	
	A2.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A2.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A2.3-A2.4	1757-SRM/B	Redundant card	1456000	6.86813E-07	0.924766241	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 44-4 CFA 901 RACK A3**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 13 años	Confiabilidad en 13 años backplate A3
A3		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992873765	0.857209495
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A3.0	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.957420237	
	A3.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A3.3	1756-IF16	Analog input-16 channel-Bipoar	4888284	2.04571E-07	0.97697275	
	A3.4	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.958717368	
	A3.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.987883776	
	A3.6	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.987883776	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 45-4 RACK A4 MV-SWG**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 13 años	Confiabilidad en 13 años backplate A4
A4		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992873765	0.90731465
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A4.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A4.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A4.2	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.941368582	
	A4.3	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.998615585	
	A4.4	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.992921523	

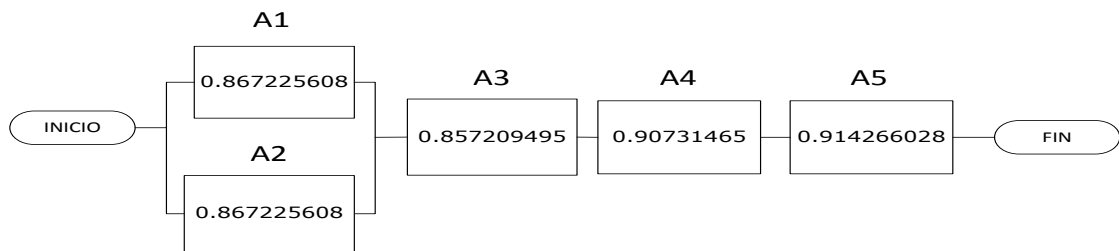
**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 46-4 CFA 901 RACK A5 MV-SWG**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 13 años	Confiabilidad en 13 años backplate A5
A5		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992873765	0.914266028
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A5.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	
	A5.1	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.941368582	
	A5.2	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.998615585	
	A5.3	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.992921523	

**Realizado por:** Marco Cunachi

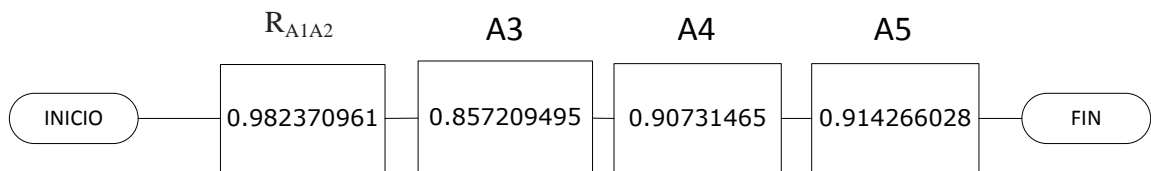
Con las confiabilidades de los racks individuales el diagrama RBD equivalente se representa en la siguiente figura:



**Figura 36-4** Confiabilidades de los racks individuales en el diagrama RBD equivalente (A1-A5) del PLC Principal

Realizado por: Marco Cunachi

Resolviendo la redundancia hot standby de los racks A1 y A2 el diagrama RBD equivalente es el siguiente:

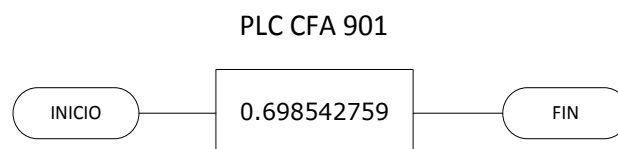


**Figura 37-4** Diagrama RBD equivalente Resolviendo la redundancia hot standby de los racks A1 y A2

Realizado por: Marco Cunachi

Resolviendo el diagrama RBD de confiabilidades en serie se tiene que la confiabilidad total del PLC PRINCIPAL CFA901 en trece años es: 0.698542759.

El diagrama RBD final es el siguiente:



**Figura 38-4** Diagrama RBD final de la confiabilidad del PLC PRINCIPAL CFA901 en trece años

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL PLC GENSET 1

En las siguientes tablas se detallan los cálculos de confiabilidad.

**Tabla 47-4 CFC 011 RACK A1**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad total rack A1
A1		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992873765	0.829154816
		1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A1.0	1756-L55M13/A	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M R	2971020	3.36585E-07	0.962395038	
	A1.1	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.957420237	
	A1.2	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.981923672	
	A1.3	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.958717368	
	A1.4	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.987883776	
	A1.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.987883776	
	A1.6	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.992396767	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 48-4 CFE 011 FLEX I/O RACK A2**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad total rack A2
A2		1794-ACN15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.991057104	0.522836911
	A2.0	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.0	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.1	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.1	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.2	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.2	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.3	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.3	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.4	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.4	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.5	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.5	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	
	A2.6	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.998387139	
	A2.6	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.914165778	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 49-4 CFE 011 FLEX I/O RACK A3**

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad total rack A3
A3		1794-ACN15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.991057104	0.971888463
	A3.0	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.0	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.993323142	
	A3.1	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.1	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.993323142	
	A3.2	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.2	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999202495	
	A3.3	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.3	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999202495	
	A3.4	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.4	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Channel	142738416	7.00582E-09	0.999202495	
	A3.5	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999725803	
	A3.5	1794-OB16/A	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Channel	54390856	1.83854E-08	0.997908456	

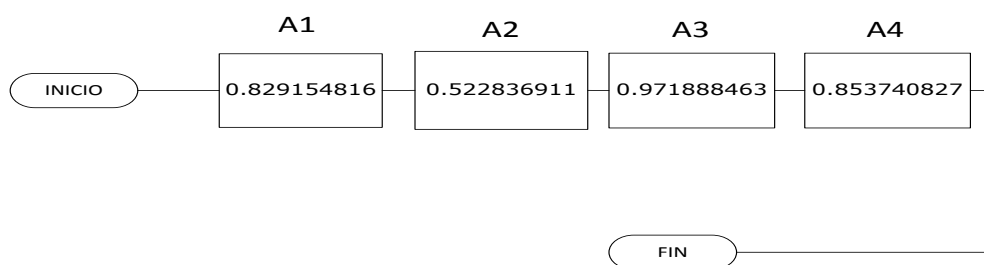
**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 50-4** CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

Rack	Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad total rack A4
A4		1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992873765	0.853740827
		1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.994077497	
	A4.0	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.981923672	
	A4.1	MVI56-MCM	Generic 1756 Module	1884790	5.30563E-07	0.941368582	
	A4.2	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.958717368	
	A4.3	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.987883776	
	A4.4	1756-OF4	Analog output-4 channel non Isolated	9470788	1.05588E-07	0.988047661	

**Realizado por:** Marco Cunachi

Con las confiabilidades de los racks individuales el diagrama RBD equivalente se representa en la siguiente figura:

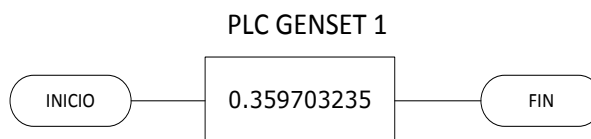


**Figura 39-4** Confiabilidades de los racks individuales en el diagrama RBD equivalente (A1-A4)

**Realizado por:** Marco Cunachi

Resolviendo el diagrama RBD de confiabilidades en serie se tiene que la confiabilidad total del PLC GENSET 1 en trece años es: 0.359703235.

El diagrama RBD final es el siguiente:



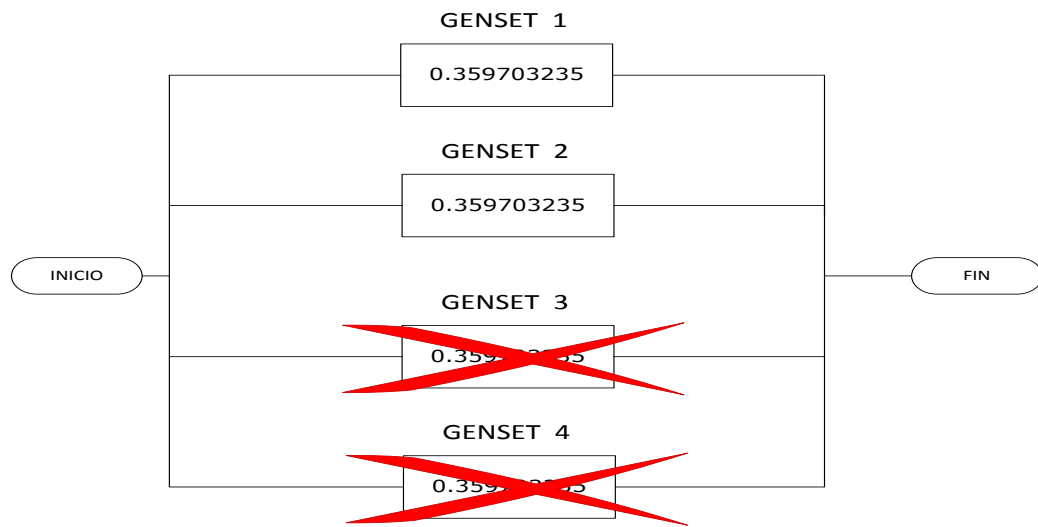
**Figura 40-4** Diagrama RBD final de la confiabilidad del PLC Genset 1 en trece años

**Realizado por:** Marco Cunachi

### CONFIGURACION PARALELO K-OUT-OF-N

Por ejemplo, en el caso de que los PLC genset 1 y genset 2 están funcionando correctamente y los de genset 3 y genset 4 están en falla, los PLC de los generadores están funcionando en

configuración paralelo k-out-of-n, es decir 2 de 4, en otras palabras, el sistema tiene éxito si funcionan 2 PLC de 4. El RBD equivalente es el siguiente:

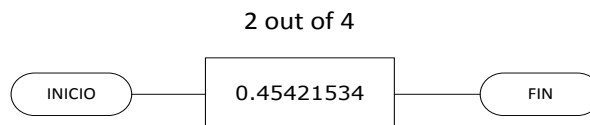


**Figura 41-4** RBD Equivalente (PLC genset funcionando adecuadamente y dos en falla)

Realizado por: Marco Cunachi

Aplicando la ecuación para cálculo de la confiabilidad en una configuración 2- out- of- 4, la confiabilidad es 0.454215337, esta confiabilidad es superior a la individual de cada PLC genset.

El diagrama equivalente de confiabilidad de los PLC genset de los generadores es el siguiente:

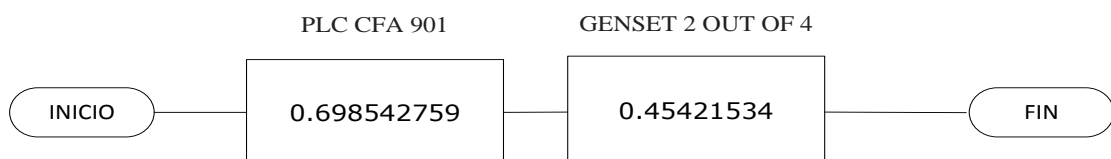


**Figura 42-4** Diagrama RBD final de la confiabilidad de los PLC genset

Realizado por: Marco Cunachi

### RBD DEL SISTEMA TOTAL DE PLC DE LA PLANTA DE GENERACION

El diagrama RBD equivalente del sistema de PLC de la planta de generación se ha reducido a un diagrama en serie como se muestra en el siguiente gráfico:

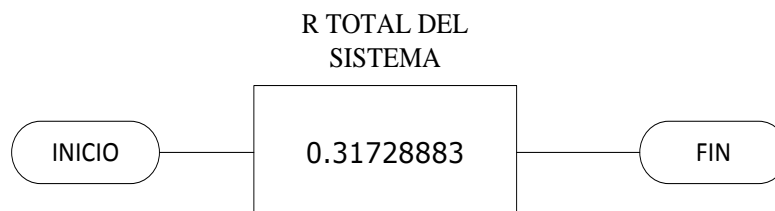


**Figura 43-4** Diagrama RBD equivalente del sistema de PLC y genset en serie

Realizado por: Marco Cunachi

Utilizando las ecuaciones de confiabilidad para bloques en serie se tiene que la confiabilidad para trece años de funcionamiento del sistema de PLC de la planta de generación es 0.317288834.

El diagrama RBD final es el siguiente:



**Figura 44-4** Diagrama RBD final de la confiabilidad del sistema PLC para bloques en serie en trece años

**Realizado por:** Marco Cunachi

#### 4.2.3 *Análisis de Resultados*

##### 4.2.3.1 *Estudio de Obsolescencia*

En el informe de auditoría del sistema de control de la planta de control elaborado por Thore Bjorkgren / VEO y especialista en sistemas de control (Ver Anexo B), se detallan las tarjetas de PLC obsoletas y que deben ser cambiadas porque su fabricación esta descontinuada y no hay soporte técnico.

En las siguientes tablas se resume los hallazgos:

**Tabla 51-4** Hallazgos CFA 901 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A1	Backplane 7 position	1756-A7		Allen Bradley	
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley	
3	A1	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.90	Allen Bradley	Obsoleto
4	A1.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
5	A1.2	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
6	A1.3-A1.4	Redundant card	1757-SRM/B	D	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 52-4** Hallazgos CFA 901 RACK A2

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A2	Backplane 7 position	1756-A7		Allen Bradley	
2	A2	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley	
3	A2	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.9	Allen Bradley	Obsoleto
4	A2.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
5	A2.2	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
6	A2.3-A2.4	Redundant card	1757-SRM/B	D	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 53-4** Hallazgos CFA 901 RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A4	Backplane 10 position	1756-A7		Allen Bradley	
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley	
3	A4.0	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
4	A4.1	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
5	A4.2	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
6	A4.3	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	1756-IB16I	1.1	Allen Bradley	
7	A4.4	Digital 16 output-Isolated Relay	1756-OW16I	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 54-4** Hallazgos CFA 901 RACK A5 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A5	Backplane 10 position	1756-A7		Allen Bradley	
2	A5	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	E01	Allen Bradley	
3	A5.0	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	
5	A5.2	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
6	A5.3	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	1756-IB16I	1.1	Allen Bradley	
7	A5.4	Digital 16 output-Isolated Relay	1756-OW16I	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 55-4** Hallazgos CFA 901 OPERATOR INTERFACE A11

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 56-4** Hallazgos CFC 011 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley	
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley	Obsoleto
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley	
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 57-4** Hallazgos CFC 011 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley	
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 58-4** Hallazgos CFE 011 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 59-4** Hallazgos CFC 011 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi



**Tabla 60-4** Hallazgos CFC 021 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley	
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley	Obsoleto
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley	
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 61-4** Hallazgos CFC 021 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley	
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 62-4** Hallazgos CFE 021 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 63-4** Hallazgos CFC 021 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 64-4** Hallazgos CFC 031 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley	
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley	Obsoleto
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley	
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 65-4** Hallazgos CFC 031 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley	
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 66-4** Hallazgos CFE 031 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 67-4** Hallazgos CFC 031 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Tabla 68-4** Hallazgos CFC 041 RACK A1

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A1	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A1	Power supply-24 VDC	1756-PB75A	E01	Allen Bradley	
3	A1.0	ControlLogix CLX5555 CPU 1.5 M RAM	1756-L55M13/A	8.21	Allen Bradley	Obsoleto
4	A1.1	Ethernet communication module	1756-ENBT/A	1.1	Allen Bradley	
5	A1.2	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
6	A1.3	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
7	A1.4	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
8	A1.5	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
9	A1.6	Control Net Bridge Redundant	1756-CNBR/D	5.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 69-4** Hallazgos CFC 041 I/O REMOTO RACK A4 MV-SWG

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1	A4	Backplane 10 position	1756-A10		Allen Bradley	
2	A4	Power supply-24 VDC	1756-PB75/A	D01	Allen Bradley	
3	A4.0	Control Net Bridge	1756-CNB/D	5.1	Allen Bradley	
4	A4.1	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	1.2	Prosoft	Obsoleto
5	A4.2	Digital output-32 outputs- 24VDC	1756-OB32	2.1	Allen Bradley	
6	A4.3	Digital input-32 inputs- 24VDC	1756-IB32	2.1	Allen Bradley	
7	A4.4	Analog output-4 channel non Isolated	1756-OF4	1.1	Allen Bradley	

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 70-4** Hallazgos CFE 041 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi**Tabla 71-4** Hallazgos CFC 041 OPERATOR INTERFACE

ÍTEM	POS PLC	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	REVISIÓN	FABRICANTE	OBSER
1		Panelview 1000	2711-K10C15L1/D	B/FRD 4.20	Allen Bradley	Obsoleto

**Realizado por:** Marco Cunachi

#### **4.2.3.2 Resultados Obtenidos**

Según los cálculos el sistema de PLC de la planta de generación en el año 1 de funcionamiento tiene 0.972406312 de confiabilidad, esto quiere decir que hay 97.24 % de que el sistema tenga éxito en realizar su función y hay 2.76 % de probabilidad de falla.

El sistema PLC de la planta de generación en el año 13 de funcionamiento tiene 0.317288834 de confiabilidad, por tanto, la probabilidad de éxito del sistema es de 31.72% y hay 68.28% de probabilidad de falla. La probabilidad de falla a los 13 años de funcionamiento del sistema PLC es muy elevada, por tanto, se analizan las acciones para subir la confiabilidad del sistema:

1. Establecer los reemplazos de los ítems obsoletos del sistema.
2. Identificar los ítems críticos que introducen baja confiabilidad al sistema.
3. Cambiar los ítems obsoletos y los que introducen baja confiabilidad al sistema.

#### **4.2.3.3 Verificación de la Hipótesis**

El presente trabajo presenta una investigación inductiva-deductiva, por tanto para verificar la hipótesis fue necesaria la utilización de la encuesta, cuyo cuestionario compendió preguntas de tipo cerrado y los datos obtenidos suministraron los encuestados en las instalaciones de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21. (Ver Anexo C)

##### Variables

Variable independiente: “El análisis de confiabilidad”

Variable dependiente: “Identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas en el tiempo para planificar el mantenimiento preventivo del sistema PLC”

##### Desarrollo

La encuesta aplicada en las instalaciones de la planta de generación eléctrica Wartsila ubicada en Yuralpa Bloque 21, obtuvo los resultados que a continuación se detallan.

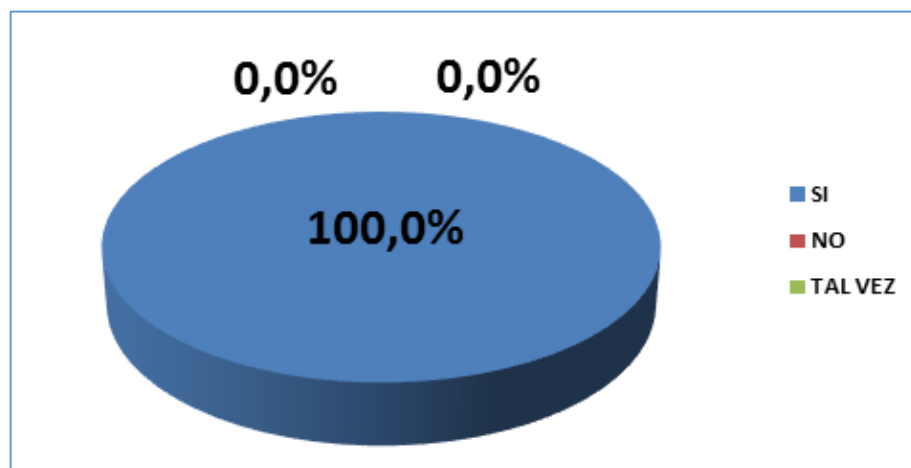
**Pregunta 1:** ¿Cree que un análisis de confiabilidad permitirá prevenir paradas no programadas del sistema PLC?

**Tabla 72-4** Respuestas pregunta 1

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	7	100.00%
No	0	0.00%
Tal vez	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 45-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 1

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 100% de los encuestados contestan que el análisis de confiabilidad permitirá prevenir paradas no programadas de la plataforma PLC, esto verifica la concordancia de la variable independiente y dependiente de la hipótesis.

**Pregunta 2:** ¿Considera que existen áreas potenciales de fallo en el sistema PLC?

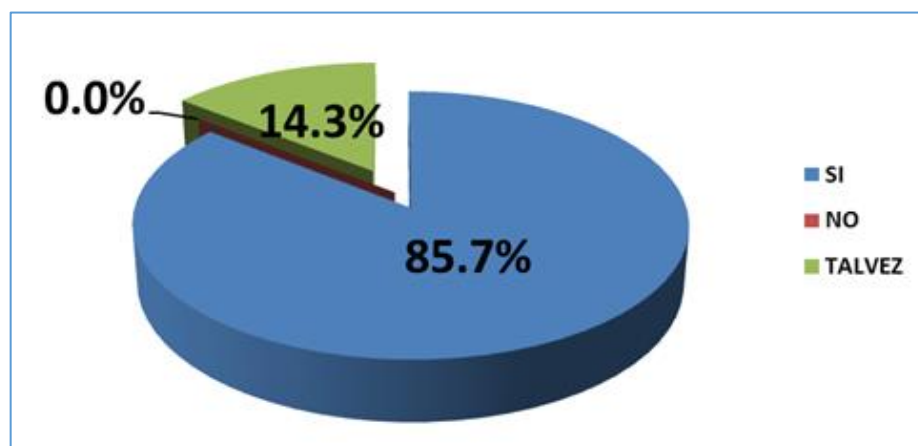
Las respuestas a la segunda pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 73-4** Respuestas pregunta 2

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	6	85.71%
No	0	0.00%
Tal vez	1	14.29%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100.00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 46-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 2

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 85.7% de los encuestados contestan que existen áreas potenciales de fallo en la plataforma PLC, el 14.3% de los encuestados responden que tal vez, el 0% de los encuestados responden que no, esto verifica la variable dependiente de la hipótesis.

**Pregunta 3:** ¿Conoce el grado de confiabilidad que posee el sistema PLC?

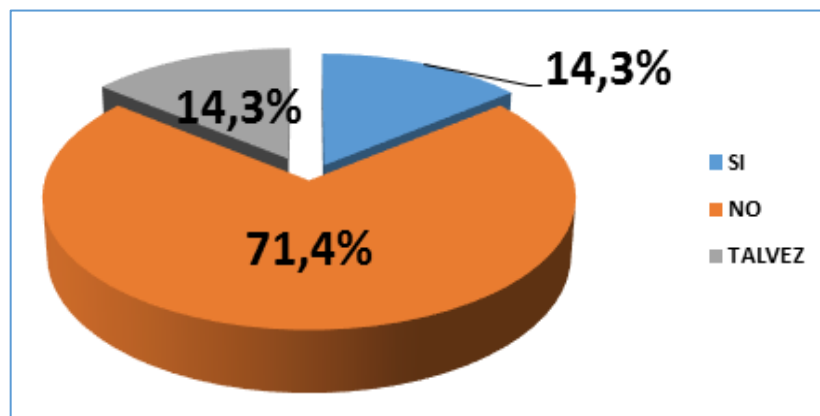
Las respuestas a la tercera pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 74-4** Respuestas pregunta 3

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	1	14.13%
No	5	71.40%
Tal vez	1	14.13%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 47-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 3

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 14.3% de los encuestados contestan que conocen el grado de confiabilidad del sistema, el 14.3% responden que tal vez, el 71.4% responden que no, esto verifica la variable independiente de la hipótesis porque la mayor parte de encuestados no conocen el valor de confiabilidad de la plataforma PLC.

**Pregunta 4:** ¿Cree que el mantenimiento preventivo del sistema PLC ayudaría en algo?

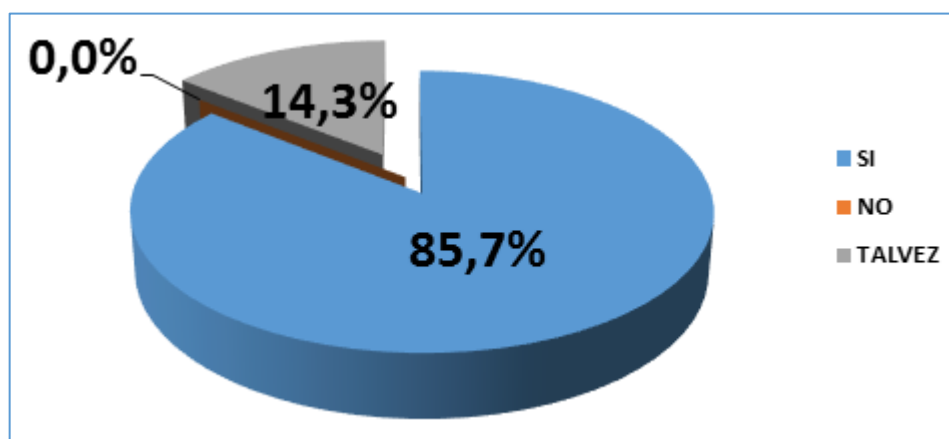
Las respuestas a la cuarta pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 75-4** Respuestas pregunta 4

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	6	85.70%
No	0	0.00%
Tal vez	1	14.30%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

Realizado por: Marco Cunachi

Fuente: Encuesta (2015)



**Figura 48-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 4

Realizado por: Marco Cunachi

Fuente: Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 85.7% de los encuestados contestan que el mantenimiento preventivo del sistema PLC ayudaría en algo, el 14.3% responden que tal vez, nadie responde que no, esto verifica la variable dependiente de la hipótesis porque la mayor parte de encuestados reconocen el valor del mantenimiento preventivo.



**Pregunta 5:** ¿Cree usted que el sistema PLC ha tenido o tiene planificado un mantenimiento preventivo?

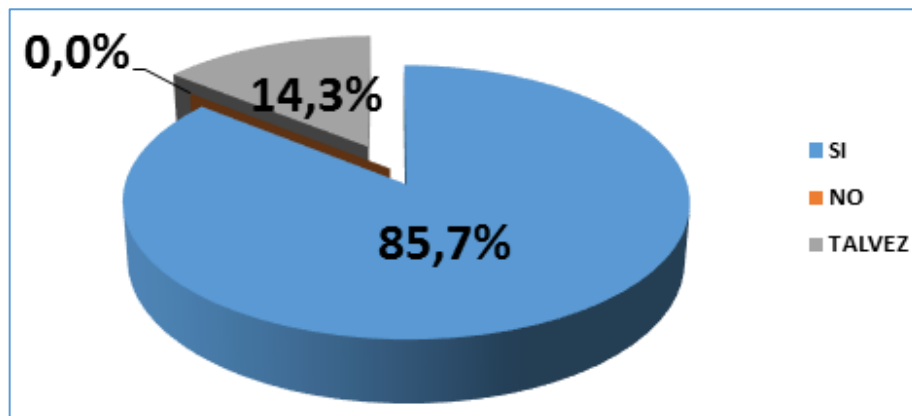
Las respuestas a la quinta pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 76-4** Respuestas pregunta 5

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	6	85.70%
No	0	0.00%
Tal vez	1	14.30%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

Realizado por: Marco Cunachi

Fuente: Encuesta (2015)



**Figura 49-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 5

Realizado por: Marco Cunachi

Fuente: Encuesta (2015)

### Análisis e Interpretación

El 85.7% de los encuestados contestan que cree que el sistema PLC ha tenido o tiene planificado un mantenimiento preventivo, el 14.3% responden que tal vez, nadie responde que no, si bien es cierto que la plataforma PLC de la planta de generación tiene rutinas de mantenimiento preventivo, ninguna desde el punto de análisis de confiabilidad, los nuevos datos que aporta el análisis de confiabilidad mejorará los planes de mantenimiento preventivo.

**Pregunta 6:** ¿Conoce las posibles consecuencias de paradas no programadas en el sistema PLC?

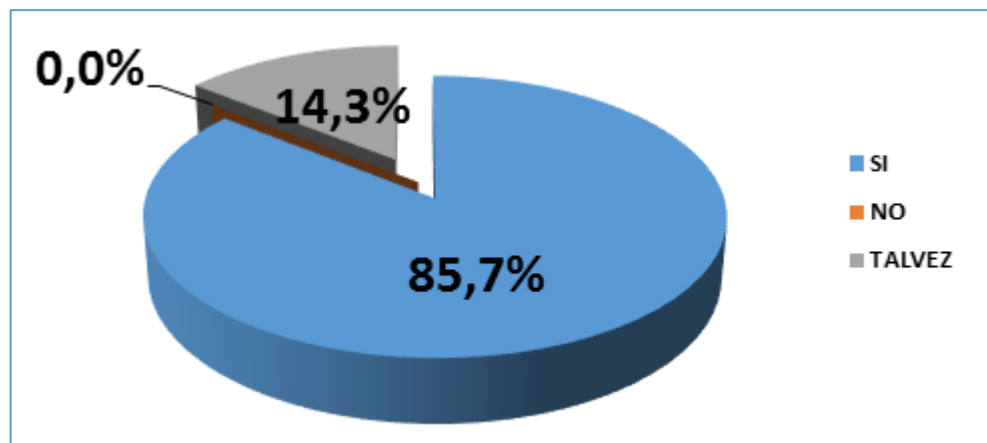
Las respuestas a la sexta pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 77-4** Respuestas pregunta 6

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	6	85.70%
No	0	0.00%
Tal vez	1	14.30%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 50-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 6

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 85.7% de los encuestados contestan que conocen las posibles consecuencias de paradas no programadas en el sistema PLC, el 14.3% responden que tal vez, nadie responde que no, esto verifica la variable dependiente de la hipótesis porque la mayor parte de encuestados conocen las consecuencias de las paradas no programadas.

**Pregunta 7:** ¿Conoce si se ha realizado anteriormente un análisis de confiabilidad al sistema PLC?

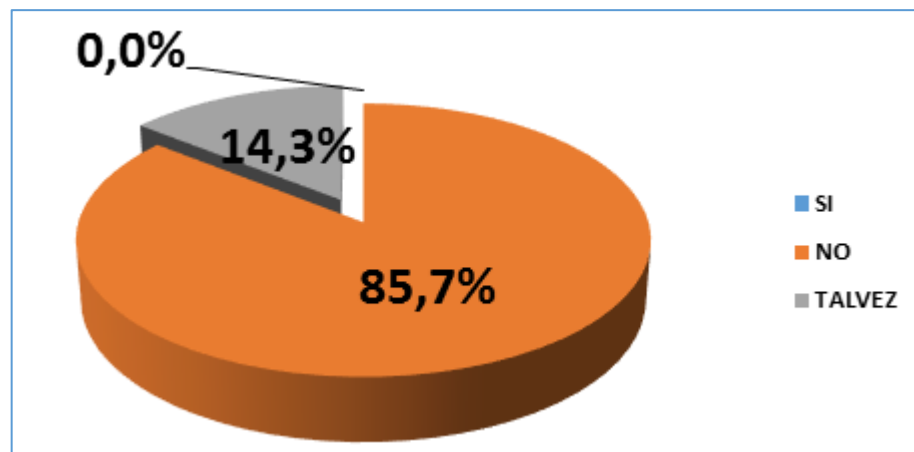
Las respuestas a la séptima pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 78-4** Respuestas pregunta 7

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	0	0.00%
No	6	85.70%
Tal vez	1	14.30%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 51-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 7

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 85.7% de los encuestados contestan que no conocen si se ha realizado anteriormente un análisis de confiabilidad al sistema PLC, el 14.3% responden que tal vez, nadie responde que sí, esto verifica la variable independiente de la hipótesis porque la mayor parte de encuestados no conocen el valor de confiabilidad de la plataforma PLC.

**Pregunta 8:** ¿Sin un análisis de confiabilidad ha sido posible identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas del sistema PLC?

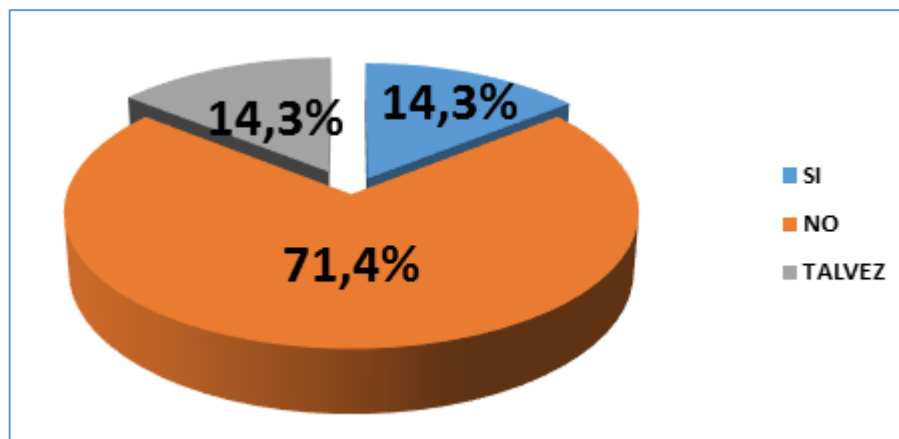
Las respuestas a la octava pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 79-4** Respuestas pregunta 8

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	1	14.30%
No	5	71.40%
Tal vez	1	14.30%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 52-4** Porcentajes de respuestas a la pregunta 8

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### Análisis e Interpretación

El 14.3% de los encuestados contestan que sin un análisis de confiabilidad ha sido posible identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas del sistema PLC, el 71.4% responden que no, el 14.3% responden que tal vez, esto verifica la variable independiente y dependiente de la hipótesis.

**Pregunta 9:** ¿Conoce los potenciales errores que pueden darse en el sistema PLC?

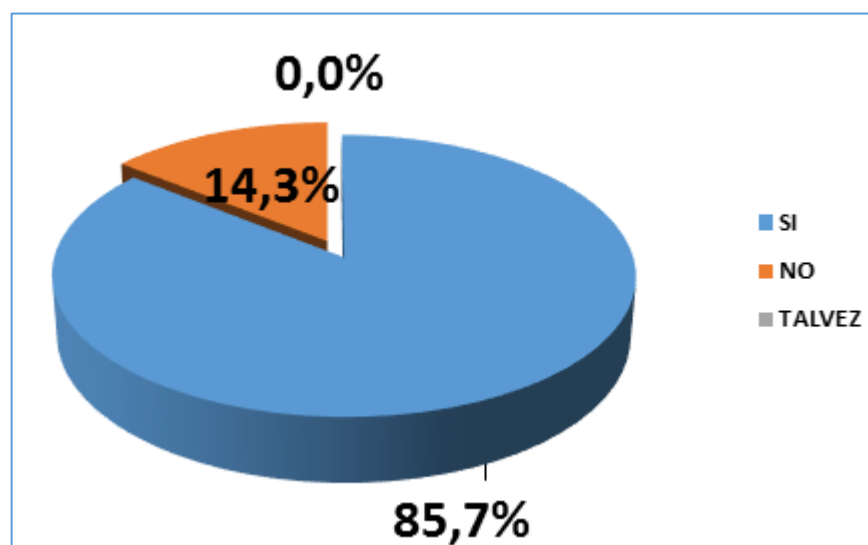
Las respuestas a la novena pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 80-4** Respuestas pregunta 9

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	6	85.70%
No	1	14.30%
Tal vez	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 53-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 9

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 85.7% de los encuestados contestan que conocen los potenciales errores que pueden darse en el sistema PLC, el 14.3% responden que no, nadie responde que tal vez, esto verifica la variable dependiente de la hipótesis.

**Pregunta 10:** ¿Cree que la confiabilidad del sistema PLC haya disminuido con el uso y el paso del tiempo?

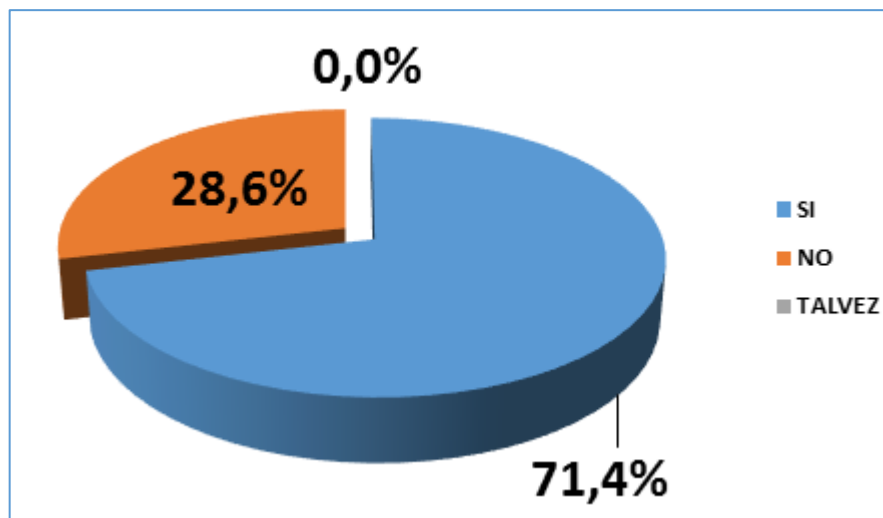
Las respuestas a la décima pregunta se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

**Tabla 81-4** Respuestas pregunta 10

Alternativas	Respuestas	Porcentaje
Si	5	71.40%
No	2	28.60%
Tal vez	0	0.00%
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>100,00%</b>

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)



**Figura 54-4** Representación gráfica de porcentajes de respuestas a la pregunta 10

**Realizado por:** Marco Cunachi

**Fuente:** Encuesta (2015)

### **Análisis e Interpretación**

El 71.4% de los encuestados contestan que creen que la confiabilidad del sistema PLC haya disminuido con el uso y el paso del tiempo, el 28.6% responden que no, nadie responde que tal vez, esto verifica la variable independiente de la hipótesis.

### *Decisión Concluyente*

De acuerdo a las respuestas de la encuesta previamente analizadas, se acepta la hipótesis la misma que expresa:

“El análisis de confiabilidad permite identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas en el tiempo para planificar el mantenimiento preventivo del sistema PLC”.

Motivo por el cual la propuesta permitirá la mejora de la confiabilidad de la plataforma de control PLC ControlLogix 5000 de la planta de generación eléctrica Wartsila Vasa 32 ubicada en Yuralpa Bloque 21.

#### *4.2.3.4 Aporte Científico*

La metodología propuesta permite calcular la confiabilidad de la plataforma de PLC en cualquier periodo de tiempo.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

#### 5.1 Establecer los reemplazos de los ítems obsoletos del sistema

La tabla siguiente muestra los reemplazos para los módulos obsoletos.

**Tabla 1-5** Módulos obsoletos y sus respectivos reemplazos

Cantidad	Descripción	Módulos obsoletos			Reemplazos	
		Código	Fabricante	MTBF	Código	MTBF
6	ControlLogix CPU	1756-L55M13/A	Allen Bradley	2971020	1756-L72	24194362
6	Generic 1756 Module	MVI56-MCM	Prosoft	1884790	MVI56E-MCM	3785618
2	Redundant card	1757-SRM/B	Allen Bradley	1456000	1756-RM	1373840

Realizado por: Marco Cunachi

En la tabla el procesador 1756-L72 tiene el MTBF 8.14 veces mayor que el 1756-L55, la tarjeta MVI56E-MCM tiene el MTBF 2 veces mayor que el MVI56-MCM, esto indica que la mayoría de las nuevas versiones de los módulos de PLC son de confiabilidad mejorada.

#### 5.2 Identificar los ítems críticos que introducen baja confiabilidad al sistema

A los 13 años de funcionamiento la confiabilidad 0.454215337 de los PLC Genset en configuración 2-out-of-4 es la que introduce la baja confiabilidad del sistema total de PLC, por tanto, para mejorar la confiabilidad se observa que el CFE 0\_1 FLEX I/O RACK A2 es el rack de menor confiabilidad 0.522836911 de los PLC genset1, genset2, genset3, genset4, y dentro del rack en cuestión, la tarjeta 1794-IRT8 es la que tiene menor confiabilidad 0.914165778.

A pesar que la confiabilidad 0.914165778 de la tarjeta 1794-IRT8 es alta, a los 13 años de funcionamiento, las 7 tarjetas bajan la confiabilidad de todo el CFE 011 FLEX I/O RACK A2, esto se debe a la arquitectura del rack, es decir al multiplicar confiabilidades en serie menores que 1 el resultado final es un valor menor que cualquiera de los ítems, lo mismo sucede con los



CFE0\_1 FLEX I/O RACK A2 de los generadores 2, 3, y 4. En total son 28 tarjetas 1794-IRT8 que deben ser cambiados.

### **5.3 Cambiar los ítems obsoletos y los que introducen baja confiabilidad al sistema**

Se calcula la confiabilidad cambiando los ítems obsoletos por sus reemplazos y las 7 tarjetas 1794-IRT8 en el rack CFE 0\_1 FLEX IO A2 de los 4 PLC Genset.

A los ítems nuevos se evalúa la confiabilidad en el lapso de 1 año (8760 horas) de funcionamiento, el resto de ítems del sistema se evalúan en 14 años (122640 horas) de funcionamiento.

**Tabla 2-5** Cálculo de confiabilidad de los PLC Genset de los 4 generadores en configuración 2-out-of-4

Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A1	Confiabilidad total 14 años	Confiabilidad 2-out-of-4
	1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992327701	0.851425632	0.691250103	0.909533238
	1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A1.0	1756-L72	ControlLogix CPU	24194362	4.13319E-08	0.999637998			
A1.1	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.954220971			
A1.2	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.980546795			
A1.3	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.955613287			
A1.4	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.986957862			
A1.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.986957862			
A1.6	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 14 años	Confiabilidad rack A2		
	1794-ACN15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.990372511	0.932239258		
A2.0	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.0	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.1	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.1	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.2	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.2	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.3	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.3	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.4	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.4	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.5	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.5	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
A2.6	1794-TB3G	Flex I/O Terminal Base	70550480	1.41742E-08	0.99826318			
A2.6	1794-IRT8/A	Flex I/O Thermocouple Input 8 Channel	1268952	7.88052E-07	0.993120439			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 14 años	Confiabilidad rack A3		
	1794-ACN15/C	Flex I/O Control Net Adapter	12677105	7.88824E-08	0.990372511	0.969759056		
A3.0	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.0	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.992811388			
A3.1	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.1	1794-IE8/B	Flex I/O Analog Input 8 Channel	16998924	5.88273E-08	0.992811388			
A3.2	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.2	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Chann	142738416	7.00582E-09	0.999141175			
A3.3	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.3	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Chann	142738416	7.00582E-09	0.999141175			
A3.4	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.4	1794-IB16/A	Flex I/O Digital Input 24 VDC 16 Chann	142738416	7.00582E-09	0.999141175			
A3.5	1794-TB3	Flex I/O Terminal Base	415264448	2.4081E-09	0.999704714			
A3.5	1794-OB16/A	Flex I/O Digital Output 24 VDC 16 Cha	54390856	1.83854E-08	0.997747749			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad en 14 años	Confiabilidad rack A4		
	1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992327701	0.898043259		
	1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A4.0	1756-CNB/D	Control Net Bridge	6242839	1.60184E-07	0.980546795			
A4.1	MV156E-MCM	Generic 1756 Module	3785618	2.64158E-07	0.997688654			
A4.2	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.955613287			
A4.3	1756-IB32	Digital input-32 inputs- 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.986957862			
A4.4	1756-OF4	Analog output-4 channel non Isolated	9470788	1.05588E-07	0.987134189			

Realizado por: Marco Cunachi

Dónde:

 Representa los reemplazos de los ítems obsoletos

 Representa las tarjetas 1794-IRT8 nuevas

Cambiando las 7 tarjetas 1794-IRT8 en el rack CFE 011 FLEX IO A2 se eleva la confiabilidad del rack a 0.932239258, repitiendo la misma operación en los 3 restantes PLC genset se consigue elevar la confiabilidad de los PLC Genset configuración 2-out-of-4 a 0.909533238

**Tabla 3-5** Cálculo de confiabilidad del PLC principal CFA-901

Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A1	Confiabilidad A1 y A2 en hot standby	Confiabilidad de CFA-901
	1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.994943876	0.965950087	0.998840603	0.784386916
	1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A1.0	1756-L72	ControlLogix CPU	24194362	4.13319E-08	0.999637998			
A1.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A1.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A1.3-A1.4	1756-RM	Redundant card	1373840	7.27887E-07	0.993643997			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A2		
	1756-A7	Backplane 7 position	24194362	4.13319E-08	0.994943876	0.965950087		
	1756-PB75A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A2.0	1756-L72	ControlLogix CPU	24194362	4.13319E-08	0.999637998			
A2.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A2.2	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A2.3-A2.4	1756-RM	Redundant card	1373840	7.27887E-07	0.993643997			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A3		
	1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992327701	0.847110016		
	1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A3.0	1756-ENBT/A	Ethernet communication module	2617157	3.82094E-07	0.954220971			
A3.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A3.3	1756-IF16	Analog input-16 channel-Bipoar	4888284	2.04571E-07	0.975223544			
A3.4	1756-OB32	Digital output-32 outputs- 24VDC	2701205	3.70205E-07	0.955613287			
A3.5	1756-IB32	Digital input-32 inputs - 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.986957862			
A3.6	1756-IB32	Digital input-32 inputs - 24VDC	9341912	1.07044E-07	0.986957862			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A4		
	1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992327701	0.958875785		
	1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A4.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A4.1	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A4.2	MVI56E-MCM	Generic 1756 Module	3785618	2.64158E-07	0.997688654			
A4.3	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.998509171			
A4.4	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.992379105			
Posición backplate	Código	Descripción	MTBF	Tasa de fallas $\lambda$	Confiabilidad	Confiabilidad rack A5		
	1756-A10	Backplane 10 position	15923379	6.28007E-08	0.992327701	0.966789632		
	1756-PB75/A	Power supply-24 VDC	19171360	5.21611E-08	0.993623375			
A5.0	1756-CNBR/D	Control Net Bridge Redundant	14920826	6.70204E-08	0.991814303			
A5.1	MVI56E-MCM	Generic 1756 Module	3785618	2.64158E-07	0.997688654			
A5.2	1756-IB16I	Digital 16 input-10V-30V Isolated Input	82201600	1.21652E-08	0.998509171			
A5.3	1756-OW16I	Digital 16 output-Isolated Relay	16031200	6.23784E-08	0.992379105			

Realizado por: Marco Cunachi

Dónde:

 Representa los reemplazos de los ítems obsoletos

Multiplicando el resultado de las dos tablas se tiene que la confiabilidad total del sistema a 14 años de funcionamiento luego de cambiar los ítems obsoletos y las 7 tarjetas 1794-IRT8 en cada rack CFE 0\_1 FLEX IO A2 de los 4 PLC Genset es 0.713425971, entonces se consigue que el 71.34% es la probabilidad de éxito y el 28.66% es la probabilidad que falle el sistema.

La siguiente tabla resume los resultados de confiabilidad:

**Tabla 3-6** Comparativo de confiabilidad

Sub-sistemas	Confiabilidad 1 año de funcionamiento	Confiabilidad 13 años de funcionamiento	Confiabilidad 14 años de funcionamiento cambiando obsoletos y tarjetas 1794-IRT8 de los 4 PLC genset
Confiabilidad PLC CFA 901	0.973996623	0.698542759	0.784386916
Confiabilidad PLC genset 2-out-of-4	0.998367232	0.454215337	0.909533238
Confiabilidad total del sistema PLC	0.972406312	0.317288834	0.713425971

**Realizado por:** Marco Cunachi

## CONCLUSIONES

- El modelo probabilístico desarrollado para el cálculo utilizando diagramas RBD permite visualizar el sistema desde el punto de vista de confiabilidad, en los diagramas se observa claramente las relaciones de confiabilidad entre los distintos componentes, racks, subsistemas y sistemas.
- Aplicando el modelo desarrollado, se calcula la confiabilidad del sistema a 1 y 13 años de funcionamiento, obteniéndose que el valor de confiabilidad al año 1 de funcionamiento sea de 0.972406312 y a los 13 años es 0.317288834, comprobándose que la confiabilidad disminuye con el tiempo.
- Con el modelo probabilístico se comprueba que la confiabilidad de cualquier componente disminuye en el tiempo, aunque no haya fallado en el periodo de estudio.
- Al evaluar la confiabilidad del sistema a los 13 años de funcionamiento, se determina que el rack CFE 0\_1 FLEX I/O A2 introduce la baja confiabilidad en cada uno de los PLC Genset, la baja confiabilidad se debe a que tiene muchos componentes en serie y los módulos 1754-IRT8 tienen un MTBF relativamente bajo comparado con los otros elementos que intervienen en el sistema.
- A los 13 años de funcionamiento la redundancia hot standby de los racks A1 y A2 del PLC principal CFA-901 sube la confiabilidad en 8.18% en comparación a no tener redundancia.
- La configuración k-out-of-n actual de los generadores por necesidades operacionales es 2-out-of-4, pudiendo cambiar con el tiempo de acuerdo a la capacidad de carga eléctrica requerida por el proceso, esto puede llegar a ser 3-out-of-4 o el caso especial de 4-out-of-4 que se comporta como un arreglo en serie de 4 elementos.
- El MTBF de las tarjetas de los PLC están en el orden de los millones de horas, esta es la razón por qué son robustos y prácticamente no fallan, las pocas fallas que han existido han sido por factores externos, como por ejemplo manipulación de personas no autorizadas, tormentas eléctricas, etc.

- El modelo desarrollado evalúa la confiabilidad del sistema en cualquier periodo de tiempo, tanto en el pasado como en el futuro, evaluar la confiabilidad en el futuro permite predecir la confiabilidad y planificar la compra de materiales y las actividades de mantenimiento, evaluar en el pasado permite conocer la confiabilidad al inicio de operaciones.
- El MTBF de las nuevas tarjetas de PLC es mayor que las obsoletas a ser cambiadas, esto es un indicador que las nuevas versiones de hardware y software son de confiabilidad mejorada.
- Independientemente del análisis de confiabilidad, los ítems obsoletos necesariamente tienen que ser cambiados porque no existen en el mercado y no hay soporte técnico del fabricante; en caso de ocurrir algún problema con ellos, se tendría que inmediatamente actualizar la plataforma de control y esto se traduce en conseguir recursos económicos y técnicos que no están presupuestados para el actual año fiscal.
- La propuesta de “cambiar los ítems obsoletos y los que introducen baja confiabilidad del sistema” para mejorar la confiabilidad, es una de las tantas que se puede encontrar. Existen otras soluciones, como por ejemplo realizar una reingeniería de la arquitectura, cambiar todos los ítems por nuevos, aumentar redundancias, etc., todo dependerá de la imaginación y capacidad económica de quienes administran la planta de generación.

## RECOMENDACIONES

- Con el modelo desarrollado, evaluar periódicamente la confiabilidad en el tiempo para proyectar la compra de materiales y realizar el mantenimiento respectivo del sistema.
- Actualizar continuamente las tarjetas de la plataforma de PLC, de esta forma se mantiene la confiabilidad y la brecha tecnológica se acorta por los avances de las nuevas versiones de hardware y software.
- Alimentar correctamente en el programa de gestión de mantenimiento Máximo, los mantenimientos correctivos realizados al sistema, para de esta manera obtener los datos suficientes para calcular el MTBF de algunas tarjetas en un periodo de tiempo, hay que ser ordenados y pacientes porque los tiempos entre fallas de los dispositivos son extremadamente grandes.

## BIBLIOGRAFIA

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD AEC.** (2016).

[Consulta: 12 enero 2016].

<http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/averia>

**AUTOMACIÓN MICROMECAÁNICA S.A.I.C.** (s.f.). *Curso 061: Controlador Lógico Programable (PLC)*. Argentina: Micro.

**BACHMANN ELECTRONIC GMBH.** (2015). *Redundancia*.

[Consulta: 7 diciembre 2015].

<http://www.bachmann.info/en/technologies/redundancy/>

**BLOCH, H. y GEITNER, F.** (2006). *Maximizing Machinery Uptime*.

[Consulta: 2 enero 2016].

[http://store.elsevier.com/Maximizing-Machinery-Uptime/Heinz-P\\_-Bloch/isbn-9780080465807/](http://store.elsevier.com/Maximizing-Machinery-Uptime/Heinz-P_-Bloch/isbn-9780080465807/)

**CABAU, E.** (2000). *Cuaderno Técnico n° 144. Introducción a la concepción de la garantía de funcionamiento*.

[Consulta: 8 enero 2016].

[http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/Cuadernillos/Garantia\\_de\\_funcionamiento.pdf](http://www.schneider-electric.com.co/documents/local/Cuadernillos/Garantia_de_funcionamiento.pdf)

**CASTRO, O., SUCUNUTA, N. y MANZUR, A.** (2010). *Automatización y control de un proceso de destilación de alcohol crudo y etílico por medio de un Pac ControlLogix, con redundancia en control y comunicación, usando RSLogix 5000 V16 e Intouch 10.0*.

[Consulta: 12 noviembre 2015].

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/14875>

**SEXTO, L.** (2015). *Tipos de fallo. ESPOCH*.

[Consulta: 10 noviembre 2015].

<http://se-gestiona.radical-management.com>



**ETHERNET/IP MEDIA PLANNING AND INSTALLATION MANUAL.** (Enero 2001).  
*Installation instructions: Rockwell Automation. U.S.A.: Allen-Bradley.*

**HOLGUÍN, M.** (2013). *Mantenimiento: Introducción, definiciones y principios.*  
[Consulta: 2 febrero 2016].  
<http://univirtual.utp.edu.co/pandora/recursos/1000/1041/1041.pdf>

**ITESCAM.** (2011). *Percentiles de la distribución ji – cuadrado con n grados de libertad.*  
[Consulta: 21 octubre 2015].  
[www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r35924.PDF](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r35924.PDF)

**JOHN, K. y TIEGELKAMP, M.** (2001). IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. New York: Springer.

**KAISER, K.** (2008). *Estudio de la plataforma integrada de automatización del fabricante Rockwell Automation y su aplicación como solución real de automatización de un proceso industrial.*  
[Consulta: 12 enero 2016].  
[http://www.academia.edu/8749422/ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_PLATAFORMA\\_INTEGRADA\\_DE\\_ROCKWELL\\_AUTOMATION](http://www.academia.edu/8749422/ESTUDIO_DE_LA_PLATAFORMA_INTEGRADA_DE_ROCKWELL_AUTOMATION)

**KNEZEVIC, J.** (1996). *Mantenibilidad.*  
[Consulta: 25 enero 2016].  
<http://docplayer.es/1232644-Mantenimiento-por-jezdimir-knezevic.html>

**LENZ, M. y RHODIN, J.** (2011). *Reliability calculations for complex systems.*  
[Consulta: 8 marzo 2016].  
<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:433387/FULLTEXT01.pdf>

**MARTÍN, F.** (2006). *Autómatas programables.* Universidad de Oviedo, Ingeniería de sistemas y automática. [Consulta: 12 enero 2016].  
<http://isa.uniovi.es/docencia/IngdeAutom/transparencias/Pres%20IEC%2061131.pdf>

**MÉNDEZ, R.** (2016). *Marco Teórico: Bibliografía 6.*  
[Consulta: 7 diciembre 2015].  
[http://www.academia.edu/6604679/Bibliograf%C3%ADa\\_6](http://www.academia.edu/6604679/Bibliograf%C3%ADa_6)

**MÓDULOS DE E/S ANALÓGICAS CONTROLLOGIX.** (Diciembre 2010). *Manual del usuario*. Allen-Bradley.

**MORA, A.** (2014). *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín: COLDI Limitada

**MÓDULOS DE E/S DIGITALES CONTROLLOGIX** (Noviembre 2012). *Manual del usuario*. Allen-Bradley.

**PLACENCIA, S.** (s.f.). *Terminología del mantenimiento*. Apuntes tomados en las aulas de Maestría. ESPOCH

**PUBLICACIÓN DE ROCKWELL AUTOMATION 1756-UM0010-ES-P SISTEMA CONTROLLOGIX.** (Octubre 2014). *Manual del usuario*. Allen-Bradley.

[Consulta: 12 enero 2016].

<http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um001-es-p.pdf>

**PUBLICATION 1756-QR107C-EN-P LOGIX5000 CONTROLLERS.** (Junio 2005). *System reference: Rockwell Automation*. Allen-Bradley.

[Consulta: 17 enero 2016].

[https://cours.etsmtl.ca/gpa754/references/fabricants/Logix\\_ang/quick\\_ref.pdf](https://cours.etsmtl.ca/gpa754/references/fabricants/Logix_ang/quick_ref.pdf)

**PUBLICACIÓN 1756-SG001A-US-P CONTROLLOGIX.** (Julio 2000). *Selection Guide: Rockwell Automation*. Allen-Bradley.

[Consulta: 10 Octubre 2015].

<http://plccompare.com/wp-content/uploads/2011/01/Rockwell-ControlLogix.pdf>

**RELIABILITY: A PRACTITIONER'S GUIDE. RELEX SOFTWARE CORPORATION**  
(2003)

**ROCKWELL SOFTWARE.** (2015).

[Consulta: 12 noviembre 2015].

<http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/overview.page>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA.** (s.f). *Ethernet: Tecnología para redes de área local, versión 2.1.0.* Argentina.

[Consulta: 12 enero 2016].

<http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntes/ethernet.pdf>

**PUBLICATION 1756-TD006E-EN-E CONTROLLOGIX CHASSIS SPECIFICATIONS.**

(Octubre 2014). *Technical data.* Rockwell Automation. Allen-Bradley.

[Consulta: 12 noviembre 2015].

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td006\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td006_-en-e.pdf)

**PUBLICACIÓN 1794-RM001G-EN-P FLEX I/O SYSTEM WITH CONTROLLOGIX FOR SIL2.** (Diciembre 2011). *Reference manual.* Rockwell Automation. Allen-Bradley.

[Consulta: 12 enero 2016].

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1794-rm001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1794-rm001_-en-p.pdf)

**PUBLICATION 1756-TD001I-EN-P CONTROLLOGIX CONTROLLERS.** (Agosto 2015). *Technical data.* Rockwell Automation. Allen-Bradley.

[Consulta: 10 marzo 2016].

[http://media.klinkmann.ru/pdf/ru/rockwell/new/1756-td001\\_-en-p.pdf](http://media.klinkmann.ru/pdf/ru/rockwell/new/1756-td001_-en-p.pdf)

**PUBLICACIÓN 1756-UM051B-ES-P MÓDULO DE INTERFACE DE COMUNICACIÓN ETHERNET CONTROLLOGIX.** (Noviembre 2000). *Manual del usuario.* Rockwell Automation. Allen-Bradley.

[Consulta: 12 enero 2016].

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um051\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um051_-es-p.pdf)

**PUBLICACIÓN 1756-UM523C-EN-P CONTROLLOGIX REDUNDANCY SYSTEM.**

(Junio 2003). *User manual.* Rockwell Automation. Allen-Bradley.

[Consulta: 15 de Diciembre 2015].

[http://50.244.15.10/techlib/Allen%20Bradley/AB\\_RedundancySystem\\_1757\\_SRM\\_use\\_r\\_D603.pdf](http://50.244.15.10/techlib/Allen%20Bradley/AB_RedundancySystem_1757_SRM_use_r_D603.pdf)

**PUBLICACIÓN 1756-UM535D-ES-P SISTEMA DE REDUNDANCIA CON CARACTERÍSTICAS MEJORADAS CONTROLLOGIX.** (Noviembre 2012).

*Manual del usuario. Rockwell Automation. Allen-Bradley.*

[Consulta: 1 Octubre 2015].

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um535\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1756-um535_-es-p.pdf)

**REICHARDT, C.** (1986). *Más allá de los métodos cualitativos versus cuantitativos.*

[Consulta: 1 Octubre 2015].

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2858142.pdf>

**SYSTEM ANALISYS REFERENCE – RELIASOFT CORPORATION.** (May 5 2015).

[Consulta: 1 octubre 2015].

[http://www.synthesisplatform.net/references/System\\_Analysis\\_Reference.pdf](http://www.synthesisplatform.net/references/System_Analysis_Reference.pdf)

**TECHNICAL INFORMATION 7B 02 OEM MANUALS ELECTRICAL AND CONTROL SYSTEMS-CONTROL SYSTEM DRAWINGS, WARTSILA** (Agosto 2003)

## ANEXO A

### DATOS DE MTBF



Corporate Office:  
5201 Truxtun Avenue  
Third Floor  
Bakersfield, CA 93309  
USA

+1.661.716.5100  
Fax: +1.661.716.5101  
prosoft@prosofttechnology.com

#### Mean Time Between Failure (MTBF)

Model Series:	MVI56E
Model Options:	61850S, DNPNET, FLN, GSC, MCM, MCMR, MNET, MNETC, MNETCR, MNETR, SIE

MVI56E MTBF = **3,785,618 Hours**

\*MVI56E 5-year Performance Probability = **98.85%**

\*(There is a 98.85% probability that any given MVI56E model mentioned herein will perform without failure for 5 years.)



Corporate Office:  
5201 Truxtun Avenue  
Third Floor  
Bakersfield, CA 93309  
USA

+1.661.716.5100  
Fax: +1.661.716.5101  
prosoft@prosofttechnology.com

#### Mean Time Between Failure (MTBF)

Model Series:	MVI56
Model Options:	101M, 101S, 103M, 103MR, 104S, 3964R, ADM, ADM-COL, ADM-COL-T, ADMNET, AFC, BAS, BDW, BSAPS, DEM, DFCM, DFCMR, DH485, DH485R, DNP, DNPSNET, EGD, FLN, GEC, GSC, HART, KOS, LNG, LTQ, MBP, MCM, MCMR, MNET, MNETC, MNETCR, MNETR, N2, PDPMV1, PDPS, S3964R, WA-EIP

MVI56 MTBF = **1,884,790 Hours**

\*MVI56 5-year Performance Probability = **97.70%**

\*(There is a 97.70% probability that any given MVI56 model mentioned herein will perform without failure for 5 years.)

MTF Wartsila Allen bradley Automatizacion nuevas tarjetas para upgrade

System Temperature: 40 MTTR (hours): 0.25 Annual Run time (hours): 8064					
Catalog Number	MTBF	Prediction Type	Creation Date	Data Source	Quantity
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	12
1756-A7	24194382	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	3
1756-CN2	11019111	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	9
1756-CN2R	21999008	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	9
1756-CN2RXT	1082880	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	9
1756-CN2R	21999008	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	14
1756-CN2RXT	1082880	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	14
1756-EN2T	1687772	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	7
1756-EN2TR	3998240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	7
1756-PA75	14103379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	3
1756-PA7R	2388388	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	3
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	12
1756-PB7R	3697380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	12
1756-RWC1	11327680	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	3
1794-ACN15	12877105	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	9
2711P-RN15S	4178840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	10
8324-RLD700XENE	82988580	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
9355-WABGWENE	58264980	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
9701-VWSTENE	46321600	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
MTBF (hours): 56.884 FPH: 1,757967E-005 Availability: 99.9995605101 %					

This tool is intended to provide general Mean Time Between Failure (MTBF) information for particular products and is not an exhaustive treatment of such information. Accordingly, the information from this tool is not intended to constitute application, design or other professional engineering advice or services. Before making any decision or taking any action, which might affect your equipment, you should consult a qualified professional advisor. ROCKWELL AUTOMATION DOES NOT WARRANT THE COMPLETENESS, TIMELINESS OR ACCURACY OF ANY OF THE DATA CONTAINED IN THIS TOOL AND MAY MAKE CHANGES THERETO AT ANY TIME IN ITS SOLE DISCRETION WITHOUT NOTICE. FURTHER, ALL INFORMATION CONVEYED HEREBY IS PROVIDED TO USERS "AS IS." IN NO EVENT SHALL ROCKWELL BE LIABLE FOR ANY DAMAGES OF ANY KIND INCLUDING DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, LOSS PROFIT OR DAMAGE, EVEN IF ROCKWELL AUTOMATION HAS BEEN ADVISED ON THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. ROCKWELL AUTOMATION DISCLAIMS ALL WARRANTIES WHETHER EXPRESSED OR IMPLIED IN RESPECT OF THE INFORMATION (INCLUDING SOFTWARE) PROVIDED HEREBY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, AND NON-INFRINGEMENT. Note that certain jurisdictions do not countenance the exclusion of implied warranties; thus, this disclaimer may not apply to you.

CFA901

System Temperature: 40					
MTTR (hours): 0,25					
Annual Run time (hours): 8760					
Catalog Number	MTBF	Prediction Type	Creation Date	Data Source	Quantity
1756-A7	24194382	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-L55M13	2971020	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1757-SRM	1456000	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A7	24194382	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-L55M13	2971020	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1757-SRM	1456000	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-ENBT	2617157	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IF16	4888284	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-ENBT	2617157	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IF16	4888284	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB16I	82201600	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB16ISOE	8117547	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OW16I	16031200	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597380	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB16I	82201600	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB16ISOE	8117547	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OW16I	16031200	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
2711-K10C15L1	289568	Unknown	03/10/2007 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1784-PCIC	22821760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1784-PCICS	4806880	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
MTBF (hours): 1,217,474					
FPH: 8,213731E-007					
Availability: 99,9999794657 %					

This tool is intended to provide general Mean Time Between Failure (MTBF) information for particular products and is not an exhaustive treatment of such information. Accordingly, the information from this tool is not intended to constitute application, design or other professional engineering advice or services. Before making any decision or taking any action, which might affect your equipment, you should consult a qualified professional advisor. ROCKWELL AUTOMATION DOES NOT WARRANT THE COMPLETENESS, TIMELINESS OR ACCURACY OF ANY OF THE DATA CONTAINED IN THIS TOOL AND MAY MAKE CHANGES THERETO AT ANY TIME IN ITS SOLE DISCRETION WITHOUT NOTICE. FURTHER, ALL INFORMATION CONVEYED HEREBY IS PROVIDED TO USERS "AS IS." IN NO EVENT SHALL ROCKWELL BE LIABLE FOR ANY DAMAGES OF ANY KIND INCLUDING DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, LOSS PROFIT OR DAMAGE, EVEN IF ROCKWELL AUTOMATION HAS BEEN ADVISED ON THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. ROCKWELL AUTOMATION DISCLAIMS ALL WARRANTIES WHETHER EXPRESSED OR IMPLIED IN RESPECT OF THE INFORMATION (INCLUDING SOFTWARE) PROVIDED HEREBY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, AND NON-INFRINGEMENT. Note that certain jurisdictions do not countenance the exclusion of implied warranties; thus, this disclaimer may not apply to you.

CFC031

System Temperature: 40						
MTTR (hours): 0.25						
Annual Run time (hours): 8616						
Catalog Number	MTBF	Prediction Type	Creation Date	Data Source	Quantity	
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-L55M13	2971020	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-ENBT	2617157	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-CNB	6242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-CNBR	14920828	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-CNBR	14920828	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-TB3G	70550480	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-TB3GK	1231360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-TB3GS	124960400	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-ACN15	12677105	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-OB16	54390856	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-OB16D	23757760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-OB16P	266099952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-OB16PK	1447680	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1794-OB16PXT	1202240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-CNB	6242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-CNBR	14920828	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
1756-OF4	9470788	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
2711-K10C15L1	289568	Unknown	03/10/2007 12:00:00 a.m.	Rockwell	1	
MTBF (hours): 165.252						
FPH: 6,051351E-006						
Availability: 99,9998487165 %						

This tool is intended to provide general Mean Time Between Failure (MTBF) information for particular products and is not an exhaustive treatment of such information. Accordingly, the information from this tool is not intended to constitute application, design or other professional engineering advice or services. Before making any decision or taking any action, which might affect your equipment, you should consult a qualified professional advisor. ROCKWELL AUTOMATION DOES NOT WARRANT THE COMPLETENESS, TIMELINESS OR ACCURACY OF ANY OF THE DATA CONTAINED IN THIS TOOL AND MAY MAKE CHANGES THERETO AT ANY TIME IN ITS SOLE DISCRETION WITHOUT NOTICE. FURTHER, ALL INFORMATION CONVEYED HEREBY IS PROVIDED TO USERS "AS IS." IN NO EVENT SHALL ROCKWELL BE LIABLE FOR ANY DAMAGES OF ANY KIND INCLUDING DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, LOSS PROFIT OR DAMAGE, EVEN IF ROCKWELL AUTOMATION HAS BEEN ADVISED ON THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. ROCKWELL AUTOMATION DISCLAIMS ALL WARRANTIES WHETHER EXPRESSED OR IMPLIED IN RESPECT OF THE INFORMATION (INCLUDING SOFTWARE) PROVIDED HEREBY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, AND NON-INFRINGEMENT. Note that certain jurisdictions do not countenance the exclusion of implied warranties; thus, this disclaimer may not apply to you.



CFC021

System Temperature: 40					
MTTR (hours): 0,25					
Annual Run time (hours): 8064					
Catalog Number	MTBF	Prediction Type	Creation Date	Data Source	Quantity
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-L55M13	2971020	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-ENBT	26171157	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNB	8242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3G	70550480	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3GK	1231360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3GS	124966400	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-ACN15	12677105	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16	54390656	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16D	23757760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16P	266099952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16PK	1447080	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16PXT	1202240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNB	8242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OF4	9470788	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
2711-K10C15L1	269568	Unknown	03/10/2007 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
MTBF (hours): 174.323					
FPH: 5,736469E-006					
Availability: 99,9998565885 %					

This tool is intended to provide general Mean Time Between Failure (MTBF) information for particular products and is not an exhaustive treatment of such information. Accordingly, the information from this tool is not intended to constitute application, design or other professional engineering advice or services. Before making any decision or taking any action, which might affect your equipment, you should consult a qualified professional advisor. ROCKWELL AUTOMATION DOES NOT WARRANT THE COMPLETENESS, TIMELINESS OR ACCURACY OF ANY OF THE DATA CONTAINED IN THIS TOOL AND MAY MAKE CHANGES THERETO AT ANY TIME IN ITS SOLE DISCRETION WITHOUT NOTICE. FURTHER, ALL INFORMATION CONVEYED HEREBY IS PROVIDED TO USERS "AS IS." IN NO EVENT SHALL ROCKWELL BE LIABLE FOR ANY DAMAGES OF ANY KIND INCLUDING DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, LOSS PROFIT OR DAMAGE, EVEN IF ROCKWELL AUTOMATION HAS BEEN ADVISED ON THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. ROCKWELL AUTOMATION DISCLAIMS ALL WARRANTIES WHETHER EXPRESSED OR IMPLIED IN RESPECT OF THE INFORMATION (INCLUDING SOFTWARE) PROVIDED HEREBY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, AND NON-INFRINGEMENT. Note that certain jurisdictions do not countenance the exclusion of implied warranties; thus, this disclaimer may not apply to you.

CFC011

System Temperature: 40					
MTTR (hours): 0,25					
Annual Run time (hours): 8760					
Catalog Number	MTBF	Prediction Type	Creation Date	Data Source	Quantity
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-L55M13	2971020	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-ENBT	2617157	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNB	6242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3G	70550480	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3GK	1231360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-TB3GS	124966400	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-ACN15	12877105	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8	1268952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8K	1193920	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IRT8XT	2242240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16	142738416	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16D	32963840	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16K	3789760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-IB16XOB16P	22709440	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16	54390856	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16D	23757760	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16P	266099952	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16PK	1447680	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1794-OB16PXT	1202240	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-A10	15923379	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75	19171360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-PB75R	3597360	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNB	6242839	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-CNBR	14920826	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OB32	2701205	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-IB32	9341912	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
1756-OF4	9470788	Unknown	02/03/2012 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
2711-K10C15L1	269568	Unknown	03/10/2007 12:00:00 a.m.	Rockwell	1
MTBF (hours): 163.074					
FPH: 6,132202E-006					
Availability: 99,9998466952 %					

This tool is intended to provide general Mean Time Between Failure (MTBF) information for particular products and is not an exhaustive treatment of such information. Accordingly, the information from this tool is not intended to constitute application, design or other professional engineering advice or services. Before making any decision or taking any action, which might affect your equipment, you should consult a qualified professional advisor. ROCKWELL AUTOMATION DOES NOT WARRANT THE COMPLETENESS, TIMELINESS OR ACCURACY OF ANY OF THE DATA CONTAINED IN THIS TOOL AND MAY MAKE CHANGES THERETO AT ANY TIME IN ITS SOLE DISCRETION WITHOUT NOTICE. FURTHER, ALL INFORMATION CONVEYED HEREBY IS PROVIDED TO USERS "AS IS." IN NO EVENT SHALL ROCKWELL BE LIABLE FOR ANY DAMAGES OF ANY KIND INCLUDING DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, LOSS PROFIT OR DAMAGE, EVEN IF ROCKWELL AUTOMATION HAS BEEN ADVISED ON THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES. ROCKWELL AUTOMATION DISCLAIMS ALL WARRANTIES WHETHER EXPRESSED OR IMPLIED IN RESPECT OF THE INFORMATION (INCLUDING SOFTWARE) PROVIDED HEREBY, INCLUDING THE IMPLIED WARRANTIES OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, MERCHANTABILITY, AND NON-INFRINGEMENT. Note that certain jurisdictions do not countenance the exclusion of implied warranties; thus, this disclaimer may not apply to you.



## ANEXO C

### ENCUESTA



#### ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

N° \_\_\_\_

Dirigido a los Ingenieros encargados.

El objetivo de esta encuesta es para sustentar el trabajo de investigación y establecer la situación del sistema PLC.

Instrucciones: Favor leer la pregunta y contestar escogiendo el casillero correspondiente con una X.

1. ¿Cree que un análisis de confiabilidad permitirá prevenir paradas no programadas del sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

2. ¿Considera que existen áreas potenciales de fallo en el sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

3. ¿Conoce el grado de confiabilidad que posee el sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

4. ¿Cree que el mantenimiento preventivo del sistema PLC ayudaría en algo?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

5. ¿Cree usted que el sistema PLC ha tenido o tiene planificado un mantenimiento preventivo?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

6. ¿Conoce las posibles consecuencias de paradas no programadas en el sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

7. ¿Conoce si se ha realizado anteriormente un análisis de confiabilidad al sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

8. ¿Sin un análisis de confiabilidad ha sido posible identificar las áreas potenciales de fallo y predecir el número de paradas no programadas del sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

9. ¿Conoce los potenciales errores que pueden darse en el sistema PLC?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

10. ¿Cree que la confiabilidad del sistema PLC haya disminuido con el uso y el paso del tiempo?

SI ☐

NO ☐

TAL VEZ ☐

Observaciones y sugerencias:

---

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN